

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut Dopravy

## **Dávkovací dopravník**

Feeding conveyor

Student:

Bc. Tomáš Kaňa

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Ostrava 2014

## Zadání diplomové práce

Student:	<b>Bc. Tomáš Kaňa</b>
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace:	35 Dopravní stroje a manipulace s materiálem
Téma:	<b>Dávkovací dopravník</b> <b>Feeding Conveyor</b>

Zásady pro vypracování:

- 1) Řešení k problematice dávkování sypkého materiálu
- 2) Technologické výpočty
- 3) Konstrukční řešení dávkovacího dopravníku
- 4) Pevnostní výpočty
- 5) Výkresová dokumentace

Seznam doporučené odborné literatury:

- Zegzulka, J.: Mechanika sypkých hmot, Laboratoř sypkých hmot, VŠB-TUO, 2004  
Jasán, V.: Teória a stavba dopravníkov, TU Košice, Alfa Bratislava, 1984.  
Pešat, Z.: Manipulace v hutích. VŠB – TU Ostrava, 1992.  
Fiala, J.: Strojnické tabulky. SNTL Praha, 1989.  
Firemní literatura a potřebné normy  
Metody měření a vyhodnocení měřených vzorků Laboratoře sypkých hmot, VŠB – TU OSTRAVA.  
Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: ES VŠB-TUO, 2001.  
Polák, J., Bailotti, K., Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II. Ostrava: VŠB-TUO, 2003.  
Polák, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení III. Ostrava: ES VŠB-TUO, 2005.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem vypracoval diplomovou práci včetně příloh samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16.5.2014 .....

.....  
podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было́ сже́днано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было́ сже́днано, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2014

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Tomáš Kaňa

Adresa trvalého pobytu autora práce

Hlavní 222  
687 25, Hluk

## **Anotace diplomové práce**

KAŇA, T. *Dávkovací zásobník : diplomová práce*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2014,) 66 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Zegzulka J. CSc.

Diplomová práce se zabývá návrhem dávkovacího zásobníku pyrolýzní pece. V první části jsou představeny a srovnány běžné varianty materiálových dopravníků a jsou stanoveny požadavky na konkrétní řešení. S ohledem na konkrétní realizaci je zvolena nejvhodnější varianta. Ve druhé části je proveden návrh dílčích částí násypky. Výsledný návrh nejvíce namáhané části je ověřen pevnostní analýzou v simulačním programu ANSYS.

## **Annotation of bachelor study**

KAŇA, T. *Feeding conveyor : diploma thesis*, Ostrava: VŠB – Technical University Of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2014, 66 s. Thesis head: : prof. Ing. Zegzulka J. CSc.

This thesis deals with design of feeding buffer of pyrolysis furnace. In the first part there are presented and compared common variants of material conveyors and there are established requirements for specific solution. According to specific realisation the most suitable variant is chosen. In the second part of thesis there is made design of individual parts of buffer. The resulting design the most stressed parts strength analysis is verified by the simulation program ANSYS.

# Obsah diplomové práce

<b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b> .....	8
1 Úvod .....	12
2 Dopravníky sypkých materiálů .....	13
2.1 Šnekový dopravník .....	13
2.1.1 Šneky šnekových dopravníků .....	14
2.1.2 Šnekové aplikace vyprazdňování zásobníku .....	16
2.2 Hřeblové dopravníky .....	18
2.3 Posuvná dna .....	20
3 Poruchy toku materiálu v zásobníku .....	20
3.1 Odstranění poruch při vyprazdňování zásobníku .....	21
4 Volba varianty vypracování .....	23
4.1 Varianta vyprazdňování pomocí šnekového dopravníku .....	23
4.2 Varianta Hřeblového dopravníku .....	23
4.3 Varianta vyprazdňování redlerovým dopravníkem .....	24
4.4 Posuvná dna .....	24
4.5 Výběr varianty .....	24
5 Technologické výpočty šnekových dopravníků šnekového dna .....	25
5.1 Převážené materiály .....	25
5.2 Výpočet přepravovaného množství na 1. Šnek .....	26
5.3 Výpočet (teoretického) průměru šneku .....	27
5.3.1 Výpočet kritických otáček .....	28
5.3.2 Rychlost pohybu materiálové vrstvy .....	29
5.3.3 Výpočet odporu proti pohybu materiálu .....	29
5.3.4 Odpor z tření materiálu po šneku .....	30
5.3.5 Výkon na hřídeli šneku .....	31
5.3.6 Točivý moment na hřídeli šneku .....	31
5.3.7 Celkový výkon potřebný pro pohon 9 šneků .....	31
5.3.8 Úhel stoupání šnekovnice .....	31
5.3.9 Účinný poloměr šneku .....	31
5.3.10 Axiální síla v ložisku .....	32
5.4 Návrh přenosu síly z motoru na jednotlivé šneky .....	32
5.5 Volba pohonné stanice pro šnekové dno .....	34
5.5.1 Volba motoru .....	34
5.5.2 Volba převodovky .....	34
5.6 Výpočet doby rozběhu dopravníku .....	35
5.6.1 Statický moment od zatížení dopravníku redukováný na hřídel motoru .....	35
5.6.2 Skutečná rychlost vrstvy .....	35
5.6.3 Měrná hmotnost dopravovaného materiálu .....	35
5.6.4 Hmotový moment setrvačnosti dopravovaného materiálu .....	36

5.6.5	Hmotový moment setrvačnosti poháněcí stanice.....	36
5.6.6	Hmotový moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru.....	36
5.6.7	Dynamický moment do zpoždění posuvných a rotačních hmot .....	36
5.6.8	Výpočet doby rozběhu .....	37
5.7	Návrh sběrného šneku.....	37
5.7.1	Výpočet teoretického průměru sběrného šneku.....	37
5.7.2	Volba rozměrů sběrného šneku.....	38
5.7.3	Výpočet kritických otáček .....	39
5.7.4	Výpočet potřebných otáček dopravníku .....	39
5.7.5	Kontrola otáček.....	40
5.7.6	Rychlost pochybu materiálové vrstvy.....	40
5.7.7	Výpočet odporu proti pohybu materiálu .....	40
5.7.8	Odpor z tření materiálu po šneku.....	40
5.7.9	Výkon na hřídeli šneku .....	41
5.7.10	Minimální příkon motoru.....	41
5.7.11	Točivý moment na hřídeli šneku .....	41
5.7.12	Úhel stoupání šnekovnice .....	41
5.7.13	Účinný poloměr šneku .....	42
5.7.14	Axiální síla v ložisku .....	42
5.7.15	Volba elektromotoru .....	42
5.7.16	Volba převodovky.....	43
5.7.17	Výpočet doby rozběhu dopravníku.....	43
5.8	Měrná hmotnost dopravovaného materiálu .....	43
5.8.1	Dynamický moment do zpoždění posuvných a rotačních hmot .....	45
5.8.2	Výpočet doby rozběhu .....	45
6	Konstrukční řešení dávkovacího dopravníku. ....	46
6.1	Zásobníková část.....	46
6.2	Pohonná část šnekového dna. ....	47
6.3	Konstrukce sběrného šneku. ....	48
7	Konstrukční výpočty.....	49
7.1	Návrh ložisek a ložiskových domků od axiální síly šneku. ....	49
7.2	Návrh axiálně radiálního ložiska. ....	50
7.2.1	Stanovení ekvivalentního zatížení ložiska.....	50
7.2.2	Výpočet statického zatížení ložiska.....	51
7.2.3	Základní trvanlivost ložiska.....	51
7.2.4	Kontrola axiálního směru zatížení ložiska.....	51
7.2.5	Návrh ložiskového domku. ....	52
7.2.6	Návrh šroubového spoje ložiskového domku.....	53
7.2.7	Návrh těsných per na hřídeli pohonu.....	54
7.2.8	Výpočet předběžné délky pera.....	54
7.2.9	Celková délka pera.....	54
7.2.10	Výpočet radiální síly zatížení hřídele .....	55
7.3	Návrh hřídele pod řetězovými koly. ....	56
7.3.1	Maximální ohybový moment zatěžující hřídel. ....	56
7.3.2	Napětí od ohybu.....	57
7.3.3	Maximální kroutící moment na hřídeli. ....	57
7.3.4	Napětí v krutu. ....	57

7.3.5	Celkové napětí podle teorie HMMH.....	57
7.4	Pevnostní kontrola hřídele pomocí programu ansys 14.....	58
8	Závěr .....	60
	<b>Seznam použitých zdrojů a literatury .....</b>	<b>61</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>63</b>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$\sigma_1$	svislé napětí dle Rankina	[MPa]
$\sigma_2$	vodorovné napětí dle Rankina	[MPa]
$\sigma_D$	dovolené napětí na hřídel	[MPa]
$\sigma_{oh}$	napětí hřídele v ohybu	[MPa]
$\sigma_{o\check{s}}$	maximální zatížení voleného šroubu	[Mpa]
$\sigma_{red}$	redukováné napětí na hřídel	[MPa]
$\tau_k$	napětí v krutu na hřídeli	[MPa]
$\varphi_g$	sypný úhel pryže	[°]
$\omega$	úhlová rychlost	[s <sup>-1</sup> ]
$B$	šířka ložiska	[mm]
$C$	statická trvanlivost ložiska	[kN]
$D_t$	teoretický průměr šnekovnice	[m]
$D_{ts}$	teoretický průměr sběrného šneku	[m]
$D_s$	průměr sběrného šneku	[m]
$F_1$	svislá síla Rankinovy síly	[N]
$F_2$	vodorovná síla dle Rankina	[N]
$F_{A9}$	axiální síla na šneku šnekového dna	[N]
$F_{As}$	axiální síla sběrného šneku	[N]
$F_{ap}$	maximální zatížení ložiska v axiálním směru	[kN]
$F_{pp}$	obvodová síla na pero	[N]
$F_r$	radiální síla na hřídel	[N]
$F_{\S}$	síla na šroub ložiskového domku	[N]
$J_1$	moment setrvačnosti redukováný hřídele a materiálu	[kg · m <sup>2</sup> ]
$J_{1s}$	moment setrvačnosti material a sběrného šneku	[kg · m <sup>2</sup> ]
$J_2$	moment setrvačnosti poháněcí stanice	[kg · m <sup>2</sup> ]
$J_{2s}$	hmotový moment setrvačnosti pohonu sběrného šneku	[kg · m <sup>2</sup> ]
$J_m$	moment setrvačnosti motoru šnekového dna	[kg · m <sup>2</sup> ]
$J_{ms}$	moment setrvačnosti sběrného šneku	[kg · m <sup>2</sup> ]
$J_p$	moment setrvačnosti převodovky šnekového dna	[kg · m <sup>2</sup> ]

$J_{ps}$	moment setrvačnosti převodovky sběrného šneku	$[kg \cdot m^2]$
$J_{red}$	moment setrvačnosti redukováný na hřídel	$[kg \cdot m^2]$
$J_{reds}$	redukováný moment setrvačnosti sběrného šneku	$[kg \cdot m^2]$
$J_s$	moment setrvačnosti spojky šnekového dna	$[kg \cdot m^2]$
$J_{ss}$	moment setrvačnosti spojky pohonu sběrného šneku	$[kg \cdot m^2]$
$K$	odpor material po šneku	$[N]$
$K_s$	odpor tření material sběrného šneku	$[N]$
$L_{10}$	základní trvanlivost ložiska	$[mil. Ot.]$
$L_{10h}$	hodinová trvanlivost ložiska	$[hod]$
$L_{\check{c}}$	délka šneku šnekového dna	$[m]$
$L_{\check{c}s}$	délka sběrného šneku	$[m]$
$L_{\check{s}\check{c}}$	činná délka šneku dopravníku	$[m]$
$M_{As}$	rozběžný moment motoru sběrného šneku	$[N \cdot m]$
$M_{ms}$	jmenovitý moment motoru sběrného šneku	$[N \cdot m]$
$M_{DM}$	dynamický moment do zpoždění	$[Nm]$
$M_{DMs}$	dynamický moment zpoždění soustavy sběrného šneku	$[Nms^{-1}]$
$M_{OH}$	ohybový moment na hřídeli	$[Nm]$
$M_{k9}$	točivý moment na hřídeli šneku	$[Nm]$
$M_{kh}$	kroučící moment na hřídeli pera	$[Nm]$
$M_{ks}$	kroučící moment na hřídeli sběrného šneku	$[N \cdot m]$
$M_{sm}$	statický moment dedukovaný na hřídel motoru	$[Nm]$
$M_{sms}$	statický moment od zatížení dopravníku	$[N \cdot m]$
$P$	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	$[kN]$
$P_0$	statické zatížení ložiska	$[kN]$
$P_{ms}$	skutečný výkon motoru sběrného šneku	$[W]$
$P'$	výkon na hřídeli šnek	$[W]$
$P'$	výkon na hřídeli šnek	$[W]$
$P_c$	výkon přenášený řetězovými koly	$[W]$
$P_s$	příkon motoru sběrného šneku	$[W]$
$P_s'$	výkon motoru sběrného šneku	$[W]$
$Q$	dopravní výkon šnekového dopravníku	$[t/hod]$
$Q_c$	tíhové množství na sběrném šneku	$[t/hod]$
$Q_{c\check{s}}$	tíhové množství pro polovinu sběrného šneku	$[t/hod]$
$Q_{tg}$	tíhové množství pryže na 1. šnek	$[kg/hod]$

$Q_{tp}$	tíhové množství peletek na 1. šnek	[kg/hod]
$Q_v$	objemové množství na sběrném šneku	[m <sup>3</sup> /hod]
$Q_{v1}$	objemové množství pro 1. šnek	[m <sup>3</sup> /hod]
$Q_{v9}$	objemové množství přepravovaného materiálu	[m <sup>3</sup> /hod]
$R_S$	účinný poloměr šneku	[m]
$R_{SS}$	účinný poloměr sběrného šneku	[m]
$R_l$	reakce na levou stranu hřídele	[N]
$R_p$	reakce na levou stranu hřídele	[N]
$S_{\xi}$	výpočtový průřez šroubu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{\xi}$	obsah šnekovnice	[m <sup>2</sup> ]
$S_S$	obsah průřezu sběrného šneku	[m <sup>2</sup> ]
$V_z$	objem přepravovaného materiálu	[m <sup>3</sup> ]
$W_k$	modul průřezu v krutu	[mm <sup>3</sup> ]
$W_{oh}$	modul průřezu v ohybu	[mm <sup>3</sup> ]
$Y_1, Y_2$	ekvivalentní zatížení ložiska	[-]
$\alpha$	úhel stoupání šneku	[°]
$\lambda$	součinitel sklonu dopravníku	[-]
$\pi$	rudolfovo číslo pí	[-]
$\gamma_{sg}$	sypná tíha v dopravníku	[N · m <sup>-3</sup> ]
$\varepsilon_m$	úhlové zrychlení otáčení šneku	[s <sup>-2</sup> ]
$\eta_{ps}$	účinnost převodovky sběrného šneku	[-]
$\rho_g$	sypná hmotnost drcené pryže	[kg/m <sup>3</sup> ]
$b$	šířka pera	[mm]
$d$	průměr hřídele	[mm]
$d$	vnitřní průměr ložska	[mm]
$dt$	derivace času	[s]
$d\omega_m$	derivace úhlové rychlosti	[s <sup>-1</sup> ]
$g$	tíhové zrychlení	[m · s <sup>-2</sup> ]
$h$	výška material v zásobníku	[m]
$i_{p9}$	převodový poměr šnekového dna	[-]
$i_{ps}$	převodový poměr převodovky sběrného šneku	[-]
$k$	součinitel přepočtu Rankinovy síly	[-]
$k_{\varphi}$	součinitel plnění	[-]
$k_{\varphi s}$	součinitel plnění sběrného šneku	[-]



$l$	volená délka pera	[mm]
$l'$	předběžná délka pera	[mm]
$m$	hmotnost material	[kg]
$m_{\xi 9}$	hmotnost šneku	[kg]
$m_{red}$	redukována hmotnost na šnek	[kg]
$m_{reds}$	redukována hmotnost mat. a sběrného šneku	[kg]
$m_{\xi 9}$	hmotnost šneku zásobníku	[kg]
$m_{\xi s}$	hmotnost sběrného šneku	[kg]
$n_{ms}$	skutečné otáčky motoru sběrného šneku	[min <sup>-1</sup> ]
$n'$	teoretické otáčky šneku	[s <sup>-1</sup> ]
$n_{\xi}$	počet šneků	[-]
$n_e$	počet motorů	[-]
$n_{kr 9}$	kritické otáčky šneku dopravníku	[s <sup>-1</sup> ]
$n_{krs}$	krytické otáčky sběrného šneku	[s <sup>-1</sup> ]
$n_{p 9}$	potřebné otáčky šneku dopravníku	[s <sup>-1</sup> ]
$n_{ps}$	potřebné otáčky sběrného šneku	[s <sup>-1</sup> ]
$n_{s 9}$	skutečné otáčky vystupující z převodovky	[min <sup>-1</sup> ]
$n_{skuts}$	výstupní otáčky převodovky sběrného šneku	[min <sup>-1</sup> ]
$s$	stoupání šneku	[m]
$s$	stoupání šnekovnice	[m]
$p_{D2}$	dovolený tlak otláčejí pera	[Mpa]
$q_{m 9}$	měrná hmotnost dopravovaného materiálu	[kg · m <sup>-1</sup> ]
$q_{ms}$	měrná hmotnost material sběrného šneku	[kg · m <sup>-1</sup> ]
$t$	čas vyprázdnění	[s]
$t_1$	výška otláčované monimální výšky pera	[mm]
$t_r$	čas zastavení pohonu a dopavníku	[s]
$t_{rs}$	doza rozběhu soustavy sběrného šneku	[s]
$v_9$	rychlost pohybu material dopravníku	[m · s <sup>-1</sup> ]
$v_s$	rychlost pohybu material sběrného šneku	[m · s <sup>-1</sup> ]
$v_{s 9}$	skutečná rychlost vrstvy šnekového dna	[m · s <sup>-1</sup> ]

# 1 Úvod

S rostoucím nasazením techniky téměř ve všech oblastech lidské činnosti rostou také energetické nároky připadající na každého člověka. Zároveň je vyvíjen nezanedbatelný tlak na zvýšení efektivity hospodaření s energiemi, jak ze strany menších ekologických sdružení, tak i nadnárodních organizací. V současné době se, mimo jiné, klade velký důraz na využívání obnovitelných zdrojů energie. Jedním ze způsobů využití odpadů je zpracování v pyrolýzní peci. Zde se při vysoké teplotě za nepřístupu vzduchu ohřejí odpadní materiály na vysokou teplotu a vznikají stabilní plyny, například  $H_2$  a  $CH_4$ . Za účelem výzkumu a optimalizace tohoto procesu byla vytvořena zkušební linka pyrolýzní pece ENET v Ostravě. K pyrolýzním procesům se, využívá velké množství odpadních materiálů, od dřevěných pilin, biomasy, také velká část komunálních odpadů obsahující organickou složku, kaly, a organické oleje. Pec je vytápěna plyny vznikajícími při reakci v peci a přebytek tepla se využívá k výrobě páry nebo teplé užitkové vody. Přebytečný plyn lze též použít jako topný plyn pro motory kogeneračních jednotek.

Cílem této diplomové práce je navrhnout dávkovací zásobník, této zkušební linky, pro různé druhy materiálu, který umožní přesné dávkování těchto materiálů do pyrolýzní pece. Přívod materiálu do zásobníku je realizován pomocí řetězovo-trubkového dopravníku a vyprazdňován je přímo do komory pyrolýzní pece, kde se materiál účastní pyrolytického procesu.

Teoretická část diplomové práce je věnována rozdělení druhů šnekových dopravníků a vyprazdňování dopravníku. Jsou v ní představeny další možná řešení vyprazdňování. Praktická část popisuje volbu nejvhodnějšího řešení, následují technologické výpočty navržené varianty, návrhy pohonů. Kapitola konstrukčních výpočtů se zabývá návrhem těsných per, ložisek a pevnostní výpočet hřídele, který je ověřen pomocí výpočtové metody MKP. Příloha diplomové práce obsahuje výkresovou dokumentaci navrženého dávkovacího zásobníku.

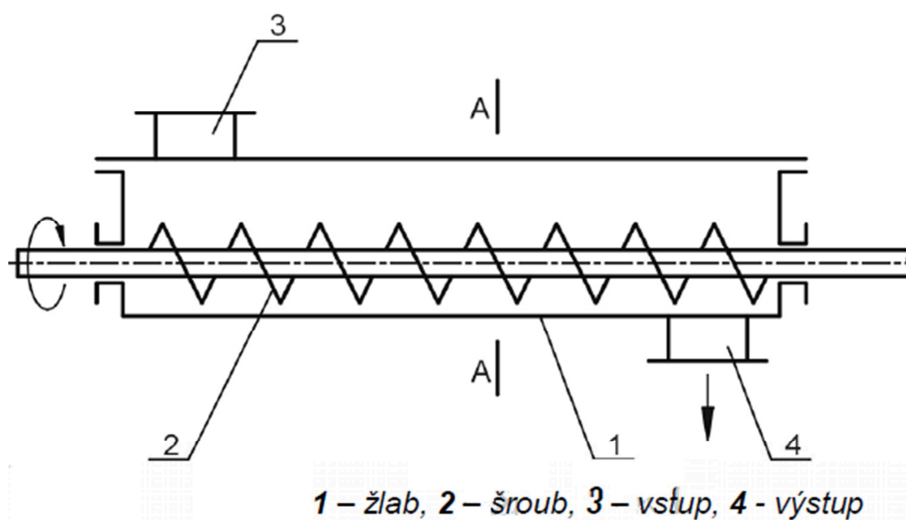
## 2 Dopravníky sypkých materiálů

Pro přepravu sypkých materiálů se používají různé druhy dopravníků, v závislosti na druhu přepravovaného materiálu, velikosti zrna a vlastnostech materiálů. V následující kapitole jsou popsány běžně používané typy dopravníků pro vynášení materiálu ze dna zásobníku.

### 2.1 Šnekový dopravník

Jedná se o dopravník bez tažného elementu. Doprava je realizována otáčením šnekovnice, která pomocí tření posunuje materiál ve žlabu obepínajícím šnekovnici. Jedná se o dopravník, který není rozměrově náročný. Jeho pohon bývá nejčastěji realizován pomocí elektromotoru. Šnekové dopravníky se používají při technologických úpravách dopravovaného materiálu, například míchání, přesunování.

Šnekový dopravník se skládá z pohonné jednotky, žlabu a šneku. Šnek se vyrábí navařením mezi-kruhových výstřižků na hřídel nebo odléváním.



Obr. 2.1 – Popis šnekového dopravníku [15]

#### Výhody a nevýhody šnekového dopravníku:

- jednoduchá konstrukce
- spolehlivost
- malé rozměry v zastavěném prostoru

### 2.1.1 Šneky šnekových dopravníků

Šnek přeměňuje rotační pohyb motoru na přímočarý pohyb materiálu uvnitř žlabu. Šnekovnice je v podstatě šneková plocha ohraničená žlabem a šnekovou hřídelí. Otáčení této šnekové plochy se posouvá materiál ve směru osy povrchu materiál k výsypnému otvoru. Při posouvání materiálu po ploše dále dochází k promíchávání materiálu. Pro jednotlivé aplikace a použití jsou různé druhy šnekovnic

#### **Plná šnekovnice**

Plná šnekovnice je základním typem šnekovnic. Užívá se k dopravě malých kusových materiálů a sypkých materiálů. Šneková plocha je navařena po celé délce ke hřídeli.



Obr. 2.2 – Plná šnekovnice [5]

#### **Obvodová šnekovnice**

Obvodová šnekovnice se používá při dopravování lehce lepivých materiálů. Nebo tekoucích materiálů. Obvodová šnekovnice se používá nejčastěji k míchání materiálu při přepravě.



Obr. 2.3 – Obvodová šnekovnice [5]

## **Bezose šnekovnice**

Bezose šnekovnice jsou bez hřídele po celé délce šneku, tyto šnekovnice se používají převážně v trubkových aplikacích. Jejich hlavní výhodou je možnost dopravy do oblouku.



Obr. 2.4 – Bezosa šnekovnice [5]

## **Kuželové šnekovnice**

Kuželové šnekovnice se používají v aplikacích kde je materiál nutno prokypřovat, jsou také osazeny kuželovými žlabem, a často s různým stoupáním na jednotlivých závitech. Často se vyrábí s proměnlivým stoupáním.



Obr. 2.5 – Kuželová šnekovnice [5]

## Lopatková šnekovnice

Lopatkové šnekovnice pro technologické řešení různých aplikací šnekovnice musí plnit různé funkce, proto bývají upraveny do různých tvarů, aby splňovaly specifické požadavky. Jejich hlavním účelem často nebývá doprava materiálu. Viz obrázek lopatkové šnekovnice, která má míchací charakter.



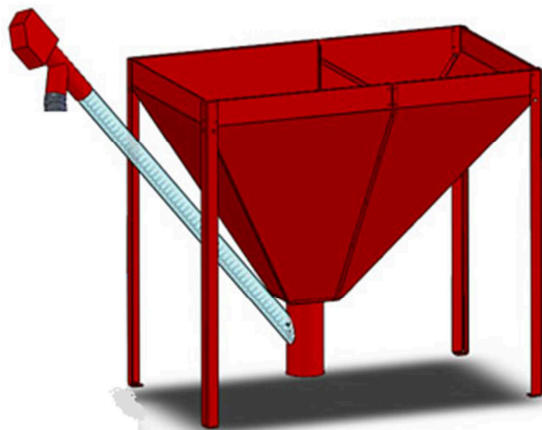
Obr. 2.6 – Lopatková šnekovnice [5]

### 2.1.2 Šnekové aplikace vyprazdňování zásobníku

Odvod materiálu ze zásobníku šnekovým dopravníkem je možné realizovat několika způsoby. Obecně je lze rozdělit na tři varianty, podle místa přechodu materiálu na dopravník. Varianty jsou voleny podle množství přenášeného objemu, a volbu variant nejvíce ovlivňuje velikost prostoru kde se má zásobník nacházet a objemové množství které je nutno dopravit.

### **Vyprazdňování z jednoho místa v klonické části zásobníku**

Zásobník je veden do jednoho místa a následně v tomto místě šnekový dopravník odebírá z onoho místa dopravovaný materiál. Používá se v aplikacích, kde není třeba dopravovat velký objem materiálu za krátký čas a také v aplikacích kde je kladen důraz na malou plochu zásobníku.



Obr. 2.7 – Vyprazdňování z klonické části [17]

### **Vyprazdňování podél jedné hrany zásobníku**

Šnekový dopravník je veden podél celého dna zásobníku a materiál posouvá do výsypného otvoru. Používá se v aplikacích, kde je důraz malou zástavnou plochu zásobníku a maximalizaci objemu zásobníku s ohledem na cenu celého zařízení.



Obr. 2.8 – Podélné vyprazdňování [18]

## Vyprazdňování šnekovým dnem

Dno zásobníku je vybaveno vícero šnekovými dopravníky, a to dopravuje velké množství dopravovaného materiálu do výsypného otvoru. Používá se v aplikacích, kde je kladen maximální důraz na zastavěnou plochu a na maximalizaci objemu zásobníku.



Obr. 2.9 – Šnekové dno [17]

## 2.2 Hřeblové dopravníky

Mezi základní části hřeblových dopravníků patří stanice poháněcí a stanice vratná. Ty jsou vybaveny elektromotory ale také dalšími částmi. Poháněcí stanice je vybavena elektromotorem (jednorychlostní, dvourychlostní, motor s frekvenčním měničem) s převodovkou. Spojení mezi motorem a převodovkou zajišťuje rozběhová hydraulická nebo pružná spojka. V některých případech je na výstupní straně převodovky umístěna zubová spojka zajišťující jednodušší montáž či následnou demontáž poháněcího bubnu z rámu stanice poháněcí.

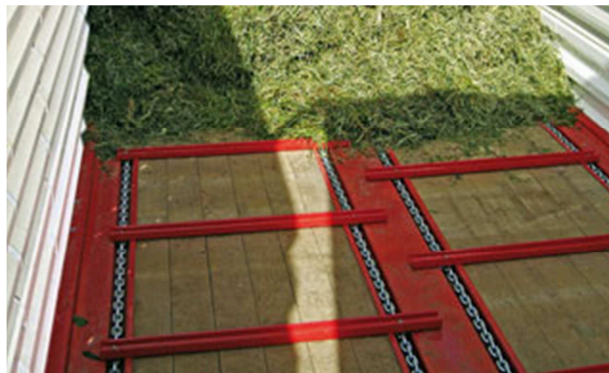
### Výhody hřeblového dopravníku:

- Dovolují krátkodobé přetížení
- Možnost dopravy horkých materiálů
- Při velkých rozměrech jsou energeticky náročné



## **Vyprazdňování zásobníku hřeblem.**

Na obrázku lze vidět hřeblový dopravník vestavěn v podlaze v tomto případě silážního sběrného vozu a umožňuje tak vyprazdňování. Hřeblový dopravník je ustaven přímo jako podlaha zásobníku, avšak aby bylo vyprazdňování vedeno do jednoho místa, musí být svod materiálu dále řešen.



Obr. 2.10 – Hřeblové dno [4]

Tento typ vyprazdňování se používá převážně v zemědělství. Jsou jím osazeny různé vlečky, metače kravské mrvy. V technické praxi se převážně nepoužívají pro vyprazdňování, protože vyprazdňovací otvor je po celé šířce zásobníku a musel by se tedy osadit dalším zařízením nebo jiným technickým řešením tak, aby byla umožněna lepší manipulace.

## 2.3 Posuvná dna.

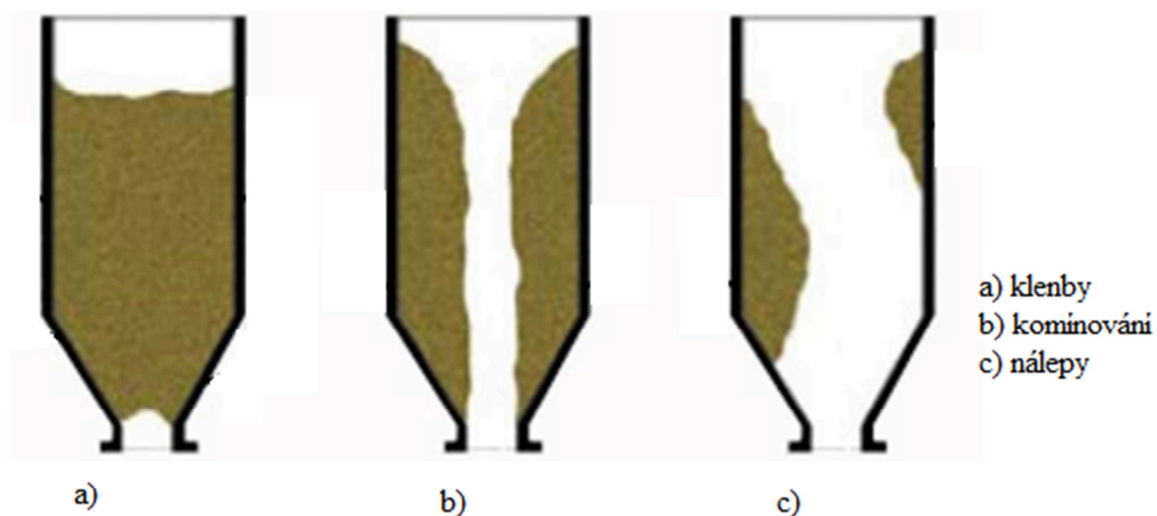
Materiál se nasypává na pohyblivé dno zásobníku. Pohybem dna je materiál strháván a nesen k výpustnému otvoru. Pohyblivá dna se používají jen k vynášení materiálu ze zásobníku, a návazné systémy proto musí být dovybaveny různými druhy dopravníků.



Obr. 2.11- Posuvná dna [6]

### Poruchy toku materiálu v zásobníku.

Při vyprazdňování zásobníku spádově dochází k poruchám. Ty jsou způsobeny nálepy materiálů na stěnách zásobníku. Rozlišujeme tři základní typy poruch: klenby, oblouky, nálepy a komínování. Tyto typy jsou znázorněny na Obr 2,12.



Obr. 2.12 – Poruchy toku [3]

## 2.4 Odstranění poruch při vyprazdňování zásobníku

V praxi se nejčastěji používají dva způsoby odstraňování poruch. Rozdíly jsou především v přepravovaném materiálu kdy dohází ke zhutňování materiálu, a k nálepům na stěnách zásobníků.

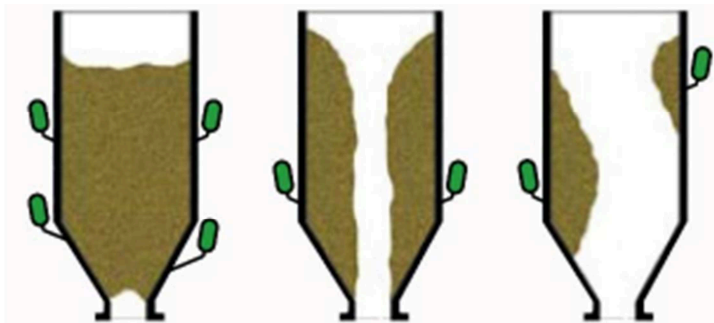
### Vzduchová děla

Vzduchové dělo je zařízení, které stlačuje vzduch do akumulátoru a v krátkém okamžiku ho uvolní. Vznikne tak rázová vlna, která uvolní blokový sypký materiál zachycený na stěnách zásobníku. Uvolněný materiál poté padá vlastní tíhou k výpustnému otvoru. V oblastech průmyslu, kde je z důvodu výrobního postupu znemožněno přepravovaný materiál uchovávat při přístupu vzduchu, je také možno do vzduchového děla použít jako médium dusík. Vzduchová děla mohou být nainstalována na všechny druhy zásobníků ať, už na sila betonová, ocelová, dřevěná a dokonce i plastová. Pro ovládání vzduchového děla může být použito pneumatické, elektrické i ruční ovládání. Výhodou vzduchového děla je rozsah teplot, za kterých může být používáno (-30 až +95°C). Další výhodou je nízká hluchost zařízení.



Obr. 2.13 – Vzduchové děla [3]

Příklad montáže vzduchových děl na stěny zásobníků.



Obr. 2.14 – Příklad montáže vzduchových děl [3]

## Provzdušňovací trysky

Provzdušňovací trysky se používají při uskladňování jemnozrnných sypkých materiálů, u kterých dochází ke zhutňování materiálu. To vede k problémům s manipulací. Materiály jako mouka, škrob, cement, drcené sklo a plastické prášky nejdou snadno vyprázdnit. Tyto materiály snadno tvoří v zásobníku u vyprazdňovacího otvoru tunelové toky, různé mosty a také se snadno přichytávají na stěny.



Obr. 2.15 – Provzdušňovací tryska [3]

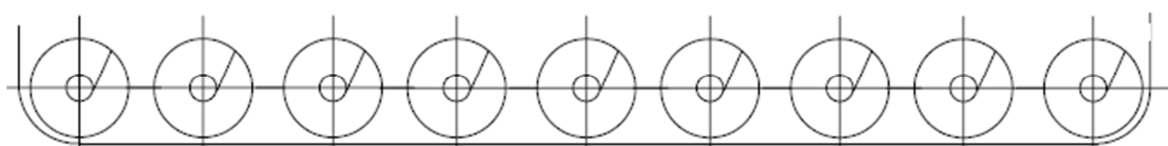
Provzdušňovací trysky fungují podobně jako vzduchová děla, avšak nekumulují stlačený vzduch uvnitř, ale musí se do nich dodávat. Jsou dva různé způsoby jak toho dosáhnout, první způsob je přivádět na trysku kontinuální proud stlačeného vzduchu, provzdušňuje se tak uskladněný materiál, po celou dobu skladování víří a neusadí se na stěny. Při druhém způsobu zajišťujeme pulzující zdroj tlakového vzduchu, materiál se tak daleko více víří při nižších dodávkách tlakového média.

Provzdušňovací trysky se dají používat v rozsahu teplot -20 až +65°C. Hlavní výhody trysek jsou nízké provozní náklady, možnost dodatečné montáže na stávající zásobníky, a nevznikají na stěnách zásobníku žádné výstupky, neboť hlavy trysek jsou v rovině vnitřní stěny zásobníku.

### 3 Volba varianty vypracování

#### 3.1 Varianta vyprazdňování pomocí šnekového dopravníku.

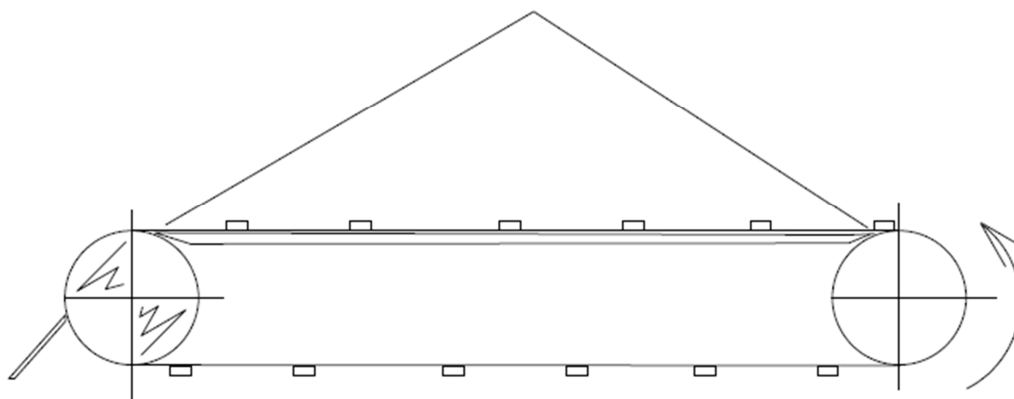
Jedná se o variantu, která není příliš náročná na místo, šnekový dopravník je jednoduchý, náklady na údržbu jsou malé. Je to také spolehlivý časem odzkoušený způsob vyprazdňování. Doprava je kontinuální, tedy nedochází k dávkování. Také se dá snadno regulovat, hermeticky uzavřít a dochází také k homogenizaci dopravovaného materiálu.



Obr. 3.1 – Rozmístění šneků šnekového dna [12]

#### 3.2 Varianta Hřeblového dopravníku

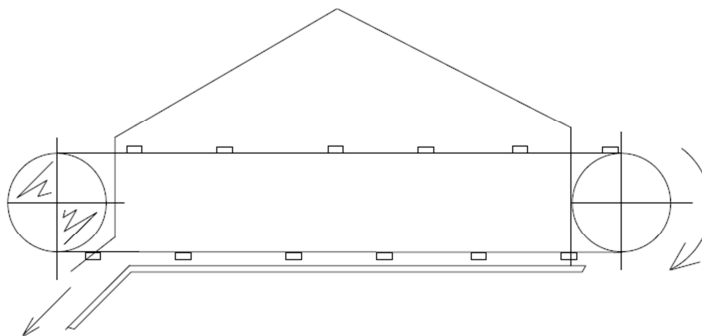
Varianta vyprazdňování pomocí hřeblového dopravníku je poměrně robustní, a minimalizaci dopravníku zabraňuje velikost řetězového kola. Dále lze poměrně těžko hermeticky uzavřít, Tento způsob se používá při velkých dopravních výkonech. Při velké šířce dopravníku narůstají dopravní odpory. Motory musí být dimenzovány na vyšší výkon a tím dražší provoz.



Obr. 3.2 – Návrh hřeblového uspořádání [12]

### 3.3 Varianta vyprazdňování redlerovým dopravníkem

Jedná se o variantu, kdy je materiál v prostoru dopravníku navrstven. Ve srovnání s hřeblovým dopravníkem je tato varianta méně prostorově náročná. Hlavní nevýhodou je, že materiál může proniknout do prostoru vratných a pohánčících kol, tím narůstají odpory a může dojít i k nálepům, tedy se navyšuje četnost servisních prohlídek.



Obr. 3.3 – Návrh redlerového dna [12]

### 3.4 Posuvná dna

Posuvná dna pracují kontinuálně. Používají se převážně v aplikacích, kde se dopravuje horký materiál nebo materiály, které jsou chemicky nestálé a reagují s dopravníkem a tím jej poškozují. Na tento způsob musí často navazovat další logistický prvek.

### 3.5 Výběr varianty

Po srovnání variant se jeví jako nejvhodnější volba vyprazdňování šnekovým dnem, protože splňuje všechny stanovené požadavky. Hlavním kritériem jsou rozměry celého zařízení, což vylučuje využití varianty s využitím klasického zásobníku. S ohledem na přepravovaný materiál není vhodné použití varianty posuvného dna.

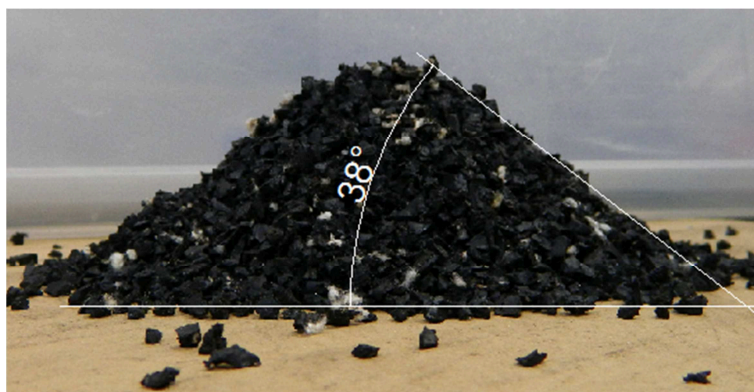
## 4 Technologické výpočty šnekových dopravníků šnekového dna

Při návrhu dopravníku je nutné zohlednit jak požadavky na množství a rychlost přepravovaného materiálu, tak i charakter materiálu samotného.

### 4.1 Přepravované materiály

#### (Materiál) Drcená guma

Jedná se o odpadní gumu z různých výrobků, která byla rozemleta. Její součástí můžou být různé znečištěné plochy, které se nacházely v původním výrobku (u pneumatik např. textilní výztuhy), olejové nánosy apod.



Obr. 4.1 – Přepravovaná guma

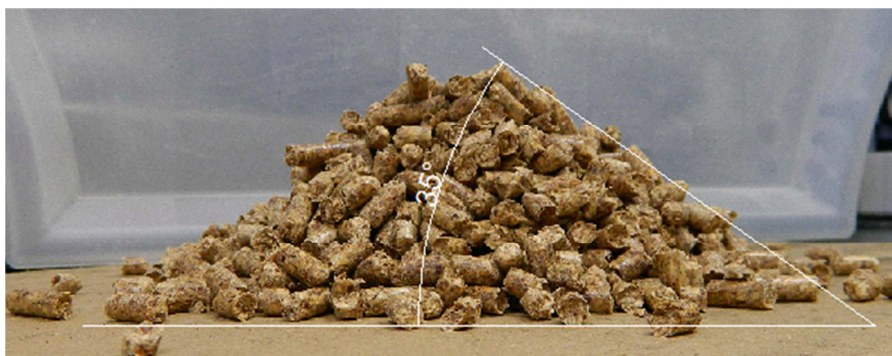
$$\rho_G = 1150 \text{ kg/m}^3$$

sypný úhel materiálu:  $\varphi = 38^\circ$



### (Materiál) Peletky:

Peletky se vyrábějí přechováním v peletkovacím stroji, z různých odpadních zemědělských komodit. Slámy, sena, kukuřičných stonků apod.



Obr. 4.2 – Přpravované peletky

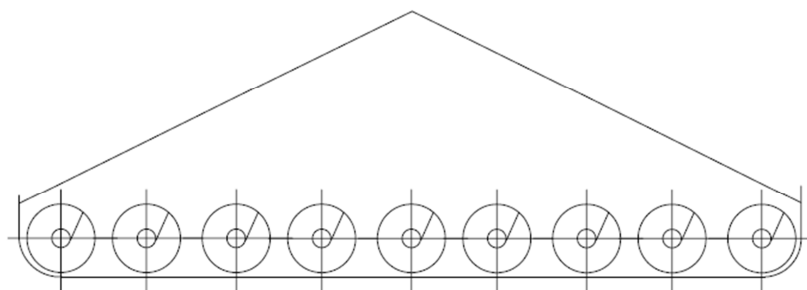
$$\rho_p = 600 \text{ kg/m}^3$$

Sypný úhel peletek:  $\varphi = 35^\circ$

## 4.2 Výpočet přepravovaného množství na jeden šnek.

Redukovaný přepočet materiálu jeden šnek provádíme z důvodu, že materiál v násypce tvoří hromadu se sklonem sypného úhlu, a šneky přepravují různé množství materiálu, čím vzdálenější jsou od násypky. Tento problém se dá odstranit různými hradítky, která materiál v násypce rozhrnou po celé ploše a zaplní tak celé dno násypky.

Materiál je vrstven na dno, které je tvořeno šneky. Materiál bude hradící deskou rozhrnován a tedy objem materiálu přepravovaného jedním šnekem je pro každý šnek stejný a tedy 1/9 objemového množství zásobníku.



Obr. 4.3 – Šneky ve dně [12]



Jsou uvažovány materiály o hustotě  $\rho_G=1150\text{kg/m}^3$ ,  $\rho_P=600\text{kg/m}^3$ . Maximální objemové množství, které se dopravuje ze zásobníku je  $V_Z=3\text{m}^3$ . Zásobník je potřeba vyprázdnit za 3 minuty. Po přepočtu získáme objemové množství přepravované šnekovým dnem:

$$Q_{v9} = \frac{V_z}{t} \cdot 60 = \frac{3}{3} \cdot 60 = 60\text{m}^3/\text{hod} \quad (5.1)$$

Přepočet na 1. šnek:

$$Q_{v1} = \frac{Q_{v9}}{n} = \frac{60}{9} = 6,66\text{m}^3/\text{hod} \quad (5.2)$$

Přepočet na tíhové množství

$$Q_{tg} = Q_{v1} \cdot \rho_G = 6,66 \cdot 1150 = 7659\text{kg}/\text{hod} \quad [5] \quad (5.3)$$

$$\rho_G = 960 - 1300$$

$$Q_{tp} = Q_{v1} \cdot \rho_P = 6,66 \cdot 600 = 3996\text{kg}/\text{hod} \quad [5] \quad (5.4)$$

$$\rho_P = 600$$

### 4.3 Výpočet (teoretického) průměru šneku

#### Dopravní výkon

$$Q = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \cdot s \cdot n' \cdot \rho_s \cdot k_\varphi \cdot \lambda \quad [t \cdot h^{-1}] \quad [5] \quad (5.5)$$

kde  $\rho_s$  sypná hmotnost  $[kg \cdot m^{-3}]$   
 $k_\varphi$  součinitel plnění  $[-]$

Upravíme stávající rovnici 1,5 a dopočítáme teoretický průměr šnekovnice.

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot Q_{tg}}{3,6 \cdot \pi \cdot n' \cdot \rho_{sg} \cdot k_\varphi \cdot \lambda}} \quad [5] \quad (5.6)$$

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 7,659}{3,6 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1150 \cdot 1 \cdot 0,16}}$$

$$D_t = 0,22\text{m}$$

Podle teoretického průměru šneku byl dle normy ČSN ISO 1050 zvolen šnek s normalizovanými rozměry, plnou šnekovnicí a dutým hřídelem.

Průměr šnekovnice	D	0,160	[m]
Stoupání šnekovnice	s	0,160	[m]
Hmotnost šneku	m <sub>sg</sub>	36,260	[kg]

Protože provozní otáčky jsou podstatně nižší kritické otáčky, volíme menší průměr šneku než je vypočtený. Tím se zvýší otáčky šneku a zvýší se i rychlost, kterou bude materiál dopravován k výpustnému otvoru. Docílíme tím menší hmotnosti konstrukčních dílů a také úsporu na energiích a konstrukčních dílech.

#### 4.3.1 Výpočet kritických otáček

Tíha dopravovaného materiálu musí být větší nebo rovna odstředivé síle. Pro splnění této podmínky nesmí otáčky překročit kritickou mez, neboli kritické otáčky  $n_{kr}$ .

#### Základní podmínka

$$m \cdot \omega^2 \cdot 0,5 \cdot D \leq m \cdot g \quad [5] \quad (5.7)$$

kde  $\omega$  úhlová rychlost  $[s^{-1}]$

$m$  hmotnost materiálu  $[m]$

$g$  tíhové zrychlení  $[m \cdot s^{-2}]$

Při dosazení úhlové rychlosti  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$  do rovnice můžeme odvodit kritické otáčky šneku. Dostaneme rovnost a tím hraniční otáčky.

$$n_{kr9} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{0,5 \cdot D}} \quad [5] \quad (5.8)$$

$$n_{kr} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{9,81}{0,5 \cdot 0,16}}$$

$$n_{kr} = 1,76 [s^{-1}]$$

### Výpočet potřebných otáček dopravníku

Vypočteme potřebné otáčky pro zvolený normalizovaný průměr šneku a z vypočteného dopravního množství. Výpočet z rovnice pro dopravní výkon.

$$n_{p9} = \frac{4 \cdot Q_{tg}}{3,6 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s \cdot \rho_s \cdot k_\varphi \cdot \lambda} \quad [5] \quad (5.9)$$

$$n_p = \frac{4 \cdot 7,659}{3,6 \cdot \pi \cdot 0,16^2 \cdot 0,16 \cdot 1150 \cdot 1 \cdot 1}$$

$$n_p = 0,575 [s^{-1}]$$

### 4.3.2 Rychlost pohybu materiálové vrstvy

Výpočet vrstvy, kterou se bude materiál ve žlabu pohybovat.

$$v_9 = n_p \cdot s \quad [5] \quad (5.10)$$

$$v_9 = 0,575 \cdot 0,16$$

$$v_9 = 0,092 [m \cdot s^{-1}]$$

### 4.3.3 Výpočet odporu proti pohybu materiálu

Dopravník je plněn po celé délce, tedy odpor z trhání materiálu nelze zanedbat. Dále započítáváme odpor od trhání materiálu po šneku K. Pro stanovení tlaků v sypkém stavu na dno zásobníku pro zjednodušení použijeme teorii podle Rankina, která zanedbává tření materiálu o stěny zásobníku, jelikož materiál, který se přepravuje šnekovým dnem, se neopírá o stěny, tudíž zvolená metoda se zdá být dostatečná.

## Sypná tíha

$$\gamma_{sg} = \rho_s \cdot g \quad [5] \quad (5.11)$$

$$\gamma_{sg} = 1150 \cdot 9,81$$

$$\gamma_{sg} = 11281,5[N \cdot m^{-3}]$$

## Výpočet Rankinovy síly

$$F_1 = \gamma_{sg} \cdot h = 11281,5 \cdot 1 = 11281,5 \text{ N} \quad (5.12)$$

$$\varphi_g = 21,8$$

$$k = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{1 - \sin \varphi_g}{1 + \sin \varphi_g} = \frac{1 - \sin(21,8)}{1 + \sin(21,8)} = 0,458$$

## Odpovídající vodorovná síla

$$F_{29} = F_1 \cdot k = 11281,5 \cdot 0,458 = 5171,4 \text{ N} \quad [5] \quad (5.13)$$

## Přepočet vodorovné síly na jeden šnek

$$F_2 = F_{29}/n_{\text{š}} = 5171,4/9 = 574,6 \text{ N} \quad (5.14)$$

### 4.3.4 Odpor z tření materiálu po šneku

$$K = (F_2 + S_{\text{š}} \cdot k_{\varphi} \cdot L_{\text{šč}} \cdot \gamma_{sg}) \cdot w \quad [5] \quad (5.15)$$

$$K = \left( F_2 + \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot k_{\varphi} \cdot L_{\text{č}} \cdot \gamma_s \right) \cdot w$$

$$K = \left( 574,6 + \frac{\pi \cdot 0,16^2}{4} \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 11281,5 \right) \cdot 2$$

$$K = 1920,4[N]$$

kde  $S$  plocha průřezu šneku  $[m^2]$

$L_{\text{č}}$  činná délka dopravníku  $[m]$

#### 4.3.5 Výkon na hřídeli šneku

$$P' = K \cdot v_9 \quad [5] \quad (5.16)$$

$$P' = 1920,4 \cdot 0,092$$

$$P' = 176,7[W]$$

#### 4.3.6 Točivý moment na hřídeli šneku

$$M_{k9} = \frac{P'}{2 \cdot \pi \cdot n_p} \quad [5] \quad (5.17)$$

$$M_{k9} = \frac{176,7}{2 \cdot \pi \cdot 0,575}$$

$$M_{k9} = 48,9[N \cdot m]$$

#### 4.3.7 Celkový výkon potřebný pro pohon devíti šneků.

$$P_c = (1,1 - 1,3) \cdot P' \cdot n_{\xi} \quad [5] \quad (5.18)$$

$$P_c = 1,1 \cdot 176,7 \cdot 9$$

$$P_c = 1749,3 W$$

#### 4.3.8 Úhel stoupání šnekovnice

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{\pi \cdot D} \quad [5] \quad (5.19)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{0,16}{\pi \cdot 0,16}$$

$$\alpha = 17,657 [^\circ]$$

#### 4.3.9 Účinný poloměr šneku

$$R_s = (0,7 \div 0,8) \cdot \frac{D}{2} \quad [5] \quad (5.20)$$

$$R_s = (0,75) \cdot \frac{0,16}{2}$$

$$R_s = 0,06[m]$$

#### 4.3.10 Axiální síla v ložisku

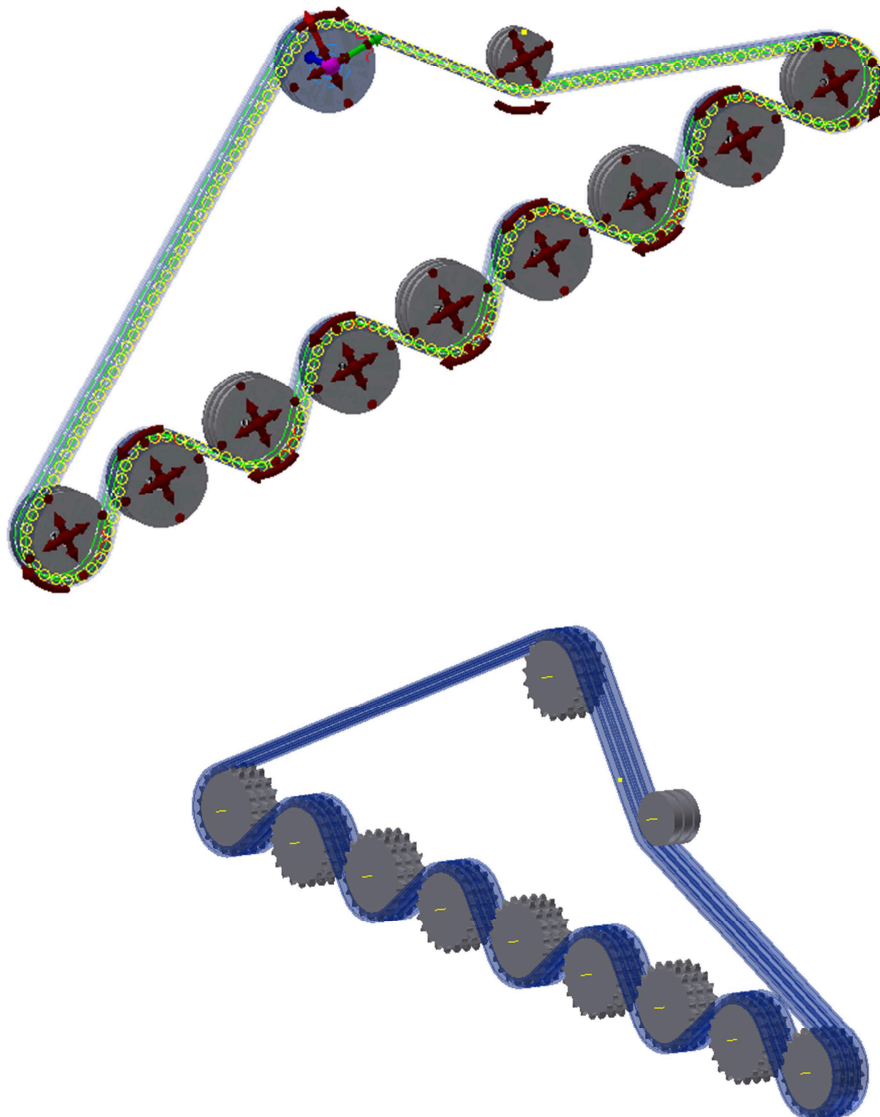
$$F_{A9} = \frac{M_k}{R_S \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_w)} \quad [5] \quad (5.21)$$

$$F_{A9} = \frac{48,9}{0,06 \cdot \operatorname{tg}(17,657 + 21,8)}$$

$$F_{A9} = 990,2[N]$$

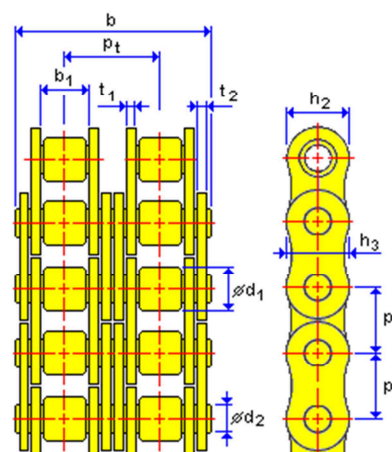
#### 4.4 Návrh přenosu síly z motoru na jednotlivé šneky

Pro přenos výkonu na šneky bylo voleno řetězové soukolí. Které bylo navrženo pomocí programu Autodesk Inventor 2012.



Obr. 4.4 – Řetězové poháněcí ústrojí [11]

Řetěz : ISO 606:2004 - Přesné válečkové řetězy pro převody s krátkou roztečí (EU)		
Označení velikosti řetězu	12B-3-188	
Rozteč	p	19,050 mm
Počet článků řetězu	X	188,000 ul
Počet řad	k	3,000 ul
Minimální vnitřní šířka	b <sub>1</sub>	11,680 mm
Max. průměr válečku nebo pouzdra	d <sub>1</sub>	12,070 mm
Maximální průměr čepu	d <sub>2</sub>	5,720 mm
Max. výška vnitřního článku	h <sub>2</sub>	16,130 mm
Max. výška vnějšího nebo středového článku	h <sub>3</sub>	16,130 mm
Maximální délka čepu řetězu	b	61,700 mm
Maximální tloušťka vnitřního článku	t <sub>1</sub>	1,800 mm
Maximální tloušťka vnějšího nebo středového článku	t <sub>2</sub>	1,700 mm
Vzdálenost mezi řadami řetězu	p <sub>t</sub>	19,460 mm
Nosná plocha řetězu	A	268,000 mm <sup>2</sup>
Pevnost při přetržení	F <sub>U</sub>	86700,000 N
Měrná hmotnost řetězu	m	3,800 kg/m
Součinitel provedení řetězu	φ	1,000 ul



Výkon	P	1,765 kW
Svěrný moment	T	488,536 N m
Otáčky	n	34,500 rpm
Účinnost	$\eta$	0,980 ul
Požadovaná životnost	L <sub>h</sub>	15000,000 hr
Maximální prodloužení řetězu	$\Delta L_{max}$	0,030 ul
Aplikace	Bezrázový provoz	
Prostředí	Čisté	

### ☐ Výsledky

Rychlost řetězu	v	0,220 mps
Obvodová síla	F <sub>p</sub>	8023,511 N
Odstředivá síla	F <sub>C</sub>	0,184 N
Maximální zatížení ve větvi řetězu	F <sub>Tmax</sub>	8023,695 N
Statický součinitel bezpečnosti	S <sub>S</sub> > S <sub>Smin</sub>	10,805 ul > 7,000 ul
Dynamický součinitel bezpečnosti	S <sub>D</sub> > S <sub>Dmin</sub>	10,805 ul > 5,000 ul
Tlak v kloubu řetězu	p <sub>B</sub> < p <sub>0</sub> * λ	29,939 MPa
Dovolený tlak v kloubu řetězu	p <sub>0</sub>	30,582 MPa
Součinitel tření	λ	0,997 ul
Diagramový výkon	P <sub>D</sub> < P <sub>R</sub>	1,770 kW
Jmenovitý výkon řetězu	P <sub>R</sub>	1,969 kW
Životnost řetězu pro zadané prodloužení	t <sub>h</sub> > L <sub>h</sub>	119404 hr
Životnost článků řetězu	t <sub>hL</sub> > L <sub>h</sub>	246495 hr
Životnost válečku a pouzdra	t <sub>hr</sub> > L <sub>h</sub>	2777778 hr

15:29:11 Výpočet: Doporučené mazání: Ruční mazání

15:29:11 Výpočet: Maximální jmenovitý výkon řetězu je omezen únavou destiček článků.

15:29:11 Výpočet: Výpočet skončil úspěšně!

Obr. 4.5 – Vypočtené hodnoty pomocí Autodesk Inventor [11]

## 4.5 Volba pohonné stanice pro šnekové dno

Poháněcí stanici volíme dle vypočteného potřebného výkonu. Volbu motoru a převodovky provedeme z katalogů firmy Nord Drivesystem, která zařizuje taktéž servis motorů a rady pro jejich montáž.

### 4.5.1 Volba motoru

Volím motor 100L/4 od společnosti Nord Drivesystem, který dodává potřebný výkon.

Motor Type	Power $P_n$		$N$ Full-load [rpm]	$I_n$ Full-Load Current		$I_2/I_n$	Code Letter	Torque $T_n$	$T_2/T_n$	$T_4/T_n$	pf	Eff. [%]	$J_m$ Inertia [lb-ft <sup>2</sup> ]
	[hp]	[kW]		230V [A]	460V [A]								
63 S/4	0.16	0.12	1700	0.88	0.44	250	F	5.9	2.7	3.5	0.66	52.0	0.0050
63 L/4	0.25	0.18	1680	1.12	0.56	270	E	9.4	2.3	2.5	0.71	57.0	0.0066
71 S/4	0.33	0.25	1710	1.56	0.78	310	G	12.2	2.4	2.7	0.64	63.0	0.015
71 L/4	0.5	0.37	1720	1.90	0.95	350	F	18.3	2.3	2.7	0.69	71.0	0.018
80 S/4	0.75	0.55	1710	2.70	1.35	350	F	27.6	2.2	2.3	0.71	72.0	0.030
80 L/4	1	0.75	1650	3.66	1.83	390	G	38.2	2.2	2.3	0.74	70.0	0.039
90 S/4	1.5	1.1	1660	4.84	2.42	490	G	57.0	2.5	2.8	0.78	73.0	0.056
90 L/4	2	1.5	1660	6.24	3.12	510	G	75.9	2.5	2.8	0.80	74.0	0.074
100 L/4	3	2.2	1705	9.00	4.50	490	G	111	2.3	2.6	0.81	76.0	0.107
100 LA/4	5	3.7	1725	15.2	7.62	510	G	183	2.7	3.1	0.75	81.0	0.178

Obr. 4.6 – Tabulka hodnot motoru pohonu šnekového dna [14]

Jmenovitý výkon motoru	$P_m$	2,2	[kW]
Jmenovité otáčky motoru	$n_m$	1705	[min <sup>-1</sup> ]
Jmenovitý moment motoru	$M_m$	12,54	[N·m]
Rozběhový moment motoru	$M_A$	28,84	[N·m]
Moment setrvačnosti motoru	$J_m$	0,05	[kg·m <sup>2</sup> ]

### 4.5.2 Volba převodovky

Volím převodovku SK 42125, která přenesese potřebný výkon, a splňuje i podmínku výstupních otáček, a s motorem 100L/4 tvoří jeden blok dodávaný společností Nord Drivesystem.

$P_1$ [kW]	$n_2$ [min <sup>-1</sup> ]	$M_2$ [Nm]	$f_B$	$i_{ges}$	$F_R$ [kN]	$F_A$ [kN]	
2,20	30	588	3,3	48,15	18,9	20,8	SK 42125 - 100L/4
	35	510	3,6	40,95	18,0	20,8	
	41	451	2,8	35,33	17,2	20,8	
	45	411	2,9	31,82	16,8	20,8	

Obr. 4.7 – Tabulka hodnot převodovky šnekového dna [14]



Výstupní otáčky převodovky	$n_{\text{skut}}$	35	$[\text{min}^{-1}]$
Převodový poměr	$i_p$	48,15	[-]
Moment setrvačnosti převodovky	$J_p$	0,25	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$
Účinnost převodovky	$\eta_p$	0,86	[-]

## 4.6 Výpočet doby rozběhu dopravníku

Do výpočtu je nutno začlenit statické momenty všech částí dopravníku, šneku, převodovky, motoru ale i redukovanou hmotnost materiálu.

### 4.6.1 Statický moment od zatížení dopravníku redukovaný na hřídel motoru

$$M_{sm} = \frac{1}{n_e} \cdot K \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\eta_{p9} \cdot i_{p9}} \quad [5] \quad (5.22)$$

$$M_{sm} = \frac{1}{1} \cdot 1920,4 \cdot \frac{0,2}{2} \cdot \frac{1}{0,86 \cdot 48,15}$$

$$M_{sm} = 0,4977 [N \cdot m]$$

kde  $n_e$  počet motorů [-]

### 4.6.2 Skutečná rychlost vrstvy

$$v_{s9} = v \cdot s \quad [5] \quad (5.23)$$

$$v_{s9} = 0,583 \cdot 0,16$$

$$v_{s9} = 0,093 [m \cdot s^{-1}]$$

### 4.6.3 Měrná hmotnost dopravovaného materiálu

$$q_{m9} = \frac{Q}{3,6 \cdot v_{s9}} \quad [5] \quad (5.24)$$

$$q_{m9} = \frac{7,659}{3,6 \cdot 0,093}$$

$$q_{m9} = 22,88 [kg \cdot m^{-1}]$$

#### 4.6.4 Hmotový moment setrvačnosti dopravovaného materiálu a šnekového hřídele

$$J_1 = \frac{1}{2} \cdot m_{red} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot [(q_{m9} \cdot L_{\xi}) + m_{\xi9}] \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad [5] \quad (5.25)$$

$$J_1 = \frac{1}{2} \cdot [(22,88 \cdot 1,7) + 36,26] \cdot \left(\frac{0,16}{2}\right)^2$$

$$J_1 = 0,24 [kg \cdot m^2]$$

#### 4.6.5 Hmotový moment setrvačnosti poháněcí stanice

$$J_2 = J_m + J_p + J_s \quad (5.26)$$

$$J_2 = 0,04 + 0,25 + 0,145 \cdot 10^{-2}$$

$$J_2 = 0,292 [kg \cdot m^2]$$

#### 4.6.6 Hmotový moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru

$$J_{red} = (J_1 + J_2) \cdot \frac{1}{(\eta_c \cdot i_{p9})} \quad [5] \quad (5.27)$$

$$J_{red} = (0,24 + 0,292) \cdot \frac{1}{(0,86 \cdot 48,71)}$$

$$J_{red} = 0,013 [kg \cdot m^2]$$

#### 4.6.7 Dynamický moment do zpoždění posuvných a rotačních hmot

$$M_{DM} = J_{red} \cdot \varepsilon_m \quad [5] \quad (5.28)$$

$$M_{DM} = J_{red} \cdot \frac{d\omega_m}{dt}$$

#### 4.6.8 Výpočet doby rozběhu

$$M_A - M_{sm} - M_{DM} = 0 \quad [5] \quad (5.29)$$

$$M_A - M_{sm} - J_{red} \cdot \frac{d\omega_m}{dt} = 0$$

$$M_A - M_{sm} = J_{red} \cdot \frac{d\omega_m}{dt}$$

$$dt = \frac{J_{red}}{(M_A - M_{sm})} \cdot d\omega_m$$

$$\int_0^{tr} dt = \int_0^{\omega_m} \frac{J_{red}}{(M_A - M_{sm})} \cdot d\omega_m$$

$$t_r = \frac{J_{red}}{(M_A - M_{sm})} \cdot \omega_m$$

$$t_r = \frac{J_{red}}{(M_A - M_{sm})} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_m}{60}$$

$$t_r = \frac{0,014}{(28,84 - 12,54)} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1705}{60}$$

$$t_r = 0,15[s]$$

### 4.7 Návrh sběrného šneku

Návrh sběrného šneku provedeme obdobně jako u návrhu šneku, avšak sběrný šnek je půlen a je osazen dvěma šnekovnicemi s rozdílným smyslem vnutí.

#### 4.7.1 Výpočet teoretického průměru sběrného šneku

$$Q_v = \frac{V_z}{t} \cdot 60 = \frac{3}{3} \cdot 60 = 60 m^3/hod \quad [3] \quad (6.1)$$

Tíhové množství, které přepraví sběrný šnek. Jelikož šnekovnice půlená bude dopravovat šnekem polovinu materiálu, výkon budeme počítat jako dvojnásobný.

$$Q_c = Q_{v9} \cdot \rho_{sg} = 60 \cdot 1150 = 69t/hod$$

$$Q_{cš} = Q_c/2 = 69/2 = 34,5t/hod$$
[5] (6.2)

$$Q = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot D_t^2}{4} \cdot s \cdot n'_s \cdot \rho_s \cdot k_\varphi \cdot \lambda \quad [t \cdot h^{-1}]$$
[5] (6.3)

kde  $\rho_s$  sypná hmotnost  $[kg \cdot m^{-3}]$

$k_\varphi$  součinitel plnění  $[-]$

$$D_{ts} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot Q_{cš}}{3,6 \cdot \pi \cdot n'_s \cdot \rho_s \cdot k_\varphi \cdot \lambda}}$$
[5] (6.4)

$$D_{ts} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 34,5}{3,6 \cdot \pi \cdot 1150 \cdot 0,30 \cdot 1 \cdot 1}}$$

$$D_{ts} = 0,32 [m]$$

#### 4.7.2 Volba rozměrů sběrného šneku

Podle teoretického průměru šneku byl dle normy ČSN ISO 1050 zvolen šnek s normalizovanými rozměry, plnou šnekovnicí a dutým hřídelem.

Průměr šnekovnice	D <sub>s</sub>	0,2	[m]
Stoupání šnekovnice	s <sub>s</sub>	0,2	[m]
Hmotnost šneku	m <sub>šs</sub>	36,260	[kg]

Opět volena šnekovnice menšího průměru než vypočteného z důvodu minimalizace a úspory financí.

### 4.7.3 Výpočet kritických otáček

Tíha dopravovaného materiálu musí být větší nebo rovna odstředivé síle. Pro splnění této podmínky nesmí otáčky překročit kritickou mez, neboli kritické otáčky  $n_{kr}$ .

#### Základní podmínka

$$m \cdot \omega^2 \cdot 0,5 \cdot D \leq m \cdot g \quad [5] \quad (6.5)$$

$$\begin{aligned} \text{kde } \omega & \text{ úhlová rychlost} \quad [s^{-1}] \\ m & \text{ hmotnost materiálu} \quad [m] \\ g & \text{ tíhové zrychlení} \quad [m \cdot s^{-2}] \end{aligned}$$

Při dosazení úhlové rychlosti  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$  do rovnice můžeme odvodit kritické otáčky šneku. Dostaneme rovnost a tím hraniční otáčky.

#### Kritické otáčky šneku

$$\begin{aligned} n_{krs} &= \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{0,5 \cdot D_s}} \quad [5] \quad (6.6) \\ n_{krs} &= \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{9,81}{0,5 \cdot 0,2}} \\ n_{krs} &= 1,57 [s^{-1}] \end{aligned}$$

### 4.7.4 Výpočet potřebných otáček dopravníku

Potřebné otáčky  $n_p$  pro zadané dopravní množství a zvolený průměr šneku vycházejí opět z rovnice 4.1 pro dopravní výkon šnekového dopravníku.

$$\begin{aligned} n_{ps} &= \frac{4 \cdot Q}{3,6 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s \cdot \rho_s \cdot k_\varphi \cdot \lambda} \quad [5] \quad (6.7) \\ n_{ps} &= \frac{4 \cdot 34,5}{3,6 \cdot \pi \cdot 0,2^2 \cdot 0,2 \cdot 1150 \cdot 1 \cdot 1} \\ n_{ps} &= 1,33 [s^{-1}] \end{aligned}$$

#### 4.7.5 Kontrola otáček

$$n_{ps} \leq n_{krs} \quad [5] \quad (6.8)$$

$$1,33[s^{-1}] < 1,57[s^{-1}]$$

*Podmínka splněna*

#### 4.7.6 Rychlost pohybu materiálové vrstvy

$$v_s = n_{ps} \cdot s_s \quad [5] \quad (6.9)$$

$$v_s = 1,33 \cdot 0,2$$

$$v_s = 0,265[m \cdot s^{-1}]$$

#### 4.7.7 Výpočet odporu proti pohybu materiálu

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g \quad [5] \quad (6.10)$$

$$\gamma_s = 1150 \cdot 9,81$$

$$\gamma_s = 11281,5[N \cdot m^{-3}]$$

#### 4.7.8 Odpor z tření materiálu po šneku

Materiál nebude strháván, ale bude přepadávat do žlabu, tedy Jansenova síla odpadá.

$$K_s = (F'_1 + S_s \cdot k_{\varphi s} \cdot L_{\check{c}s} \cdot \gamma_s) \cdot w \quad [5] \quad (6.11)$$

$$K_s = \left( 0 + \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 11281,5 \right) \cdot 2$$

$$K_s = 1063,3[N]$$

kde  $S_s$  plocha průřezu šneku  $[m^2]$

$L_{\check{c}s}$  činná délka dopravníku  $[m]$

#### 4.7.9 Výkon na hřídeli šneku

$$P' = K \cdot v \quad [5] \quad (6.12)$$

$$P' = 1063,3 \cdot 0,265$$

$$P' = 281,8 [W]$$

#### 4.7.10 Minimální příkon motoru

$$P_s = (1,1 \div 1,2) \cdot \frac{P_s'}{\eta_p} \cdot 2 \quad [5] \quad (6.13)$$

$$P_s = 1,1 \cdot \frac{281,8}{0,9} \cdot 2$$

$$P_s = 344 \cdot 2 = 688 [W]$$

#### 4.7.11 Točivý moment na hřídeli šneku

$$M_{ks} = \frac{P_s'}{2 \cdot \pi \cdot n_{ps}} \quad [5] \quad (6.14)$$

$$M_{ks} = \frac{688}{2 \cdot \pi \cdot 1,33}$$

$$M_{ks} = 82,33 [N \cdot m]$$

#### 4.7.12 Úhel stoupání šnekovnice

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s_s}{\pi \cdot D_s} \quad [5] \quad (6.15)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{0,2}{\pi \cdot 0,2}$$

$$\alpha = 17,657 [^\circ]$$

#### 4.7.13 Účinný poloměr šneku

$$R_{ss} = (0,7 \div 0,8) \cdot \frac{D_s}{2} \quad [5] \quad (6.16)$$

$$R_{ss} = (0,75) \cdot \frac{0,2}{2}$$

$$R_{ss} = 0,075 [m]$$

#### 4.7.14 Axiální síla v ložisku

$$F_{As} = \frac{M_{ks}}{R_{ss} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_w)} - \frac{M_{ks}}{R_{ss} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_w)} \quad [5] \quad (6.17)$$

$$F_{As} = \frac{82,33}{0,075 \cdot \operatorname{tg}(17,657 + 21,8)} - \frac{82,33}{0,075 \cdot \operatorname{tg}(17,657 + 21,8)}$$

$$F_{As} = 0[N]$$

Avšak tato axiální síla působí na polovině šneku, a na druhé straně bude působit stejně velká axiální síla avšak opačně orientovaná. Tedy výsledná síla je nulová.

#### 4.7.15 Volba elektromotoru

Volba motoru opět provedena dle katalogu firmy Nord Drivesystem, motory při případné poruše bude spravovat jeden smluvní subjekt.

Motor Type	Power		Full Load $n_n$ [rpm]	Torque $T_n$ [lb-in]	Full Load Current - $I_n$			PF $\cos \varphi$	EFF. $\eta$ [%]	Starting Torque $T_s/T_n$	Breakdown Torque $T_b/T_n$	Starting Current $I_s/I_n$ [%]	Code letter	Inertia $J_n$ [lb-ft <sup>2</sup> ]
	$P_n$ [HP]	[kW]			230 V [A]	460 V [A]	575 V [A]							
80 LH/4	1	0.75	1750	36.0	3.88	1.94	1.50	0.59	82.5	4.6	4.3	600	L	0.045
90 SH/4	1.5	1.1	1740	54.3	4.30	2.15	1.75	0.76	84.0	3.5	3.8	630	J	0.081
90 LH/4	2	1.5	1745	72.2	6.30	3.15	2.45	0.71	84.0	4.3	4.5	670	K	0.093
100 LH/4	3	2.2	1765	107	8.60	4.30	3.40	0.73	87.5	3.6	4.7	790	L	0.178
112 MH/4	5	3.7	1770	178	14.4	7.20	5.60	0.74	87.5	4.0	4.8	810	L	0.304

Obr. 4.8 – Tabulka hodnot motoru sběrného šneku [14]

Jmenovitý výkon motoru	$P_{ms}$	0,75	[kW]
Jmenovité otáčky motoru	$n_{ms}$	1750	[min <sup>-1</sup> ]
Jmenovitý moment motoru	$M_{ms}$	4,06	[N·m]
Rozběhový moment motoru	$M_{As}$	18,676	[N·m]
Moment setrvačnosti motoru	$J_{ms}$	0,0019	[kg·m <sup>2</sup> ]



#### 4.7.16 Volba převodovky

Volená převodovky firmy Nord Drivesystem SK 02040, je dodávána v kompletu s motorem 80LH/4 spolu s tímto motorem splňují nejblíže požadavky návrhového výpočtu.

	$i_{ges}$	$i_1$	$z_2/z_1$	$n_2$ $M_{2max}$ $P_{1max}$ $\eta$				$n_2$ $M_{2max}$ $P_{1max}$ $\eta$				$f_B$ $\square$ E2 - E13					
				$1400 \text{ min}^{-1}$				$930 \text{ min}^{-1}$									
				$[\text{min}^{-1}]$	$[\text{Nm}]$	$[\text{kW}]$	$[\%]$	$[\text{min}^{-1}]$	$[\text{Nm}]$	$[\text{kW}]$	$[\%]$	IEC 63	IEC 71				
SK 02040	42,08	2,55	33/2	33,0	75	0,37	71	22,0	81	0,27	70			*	*		
	36,80	2,23	33/2	38,0	73	0,40	72	25,0	79	0,30	70			*	*		
W	32,34	1,96	33/2	43,0	71	0,45	72	29,0	77	0,33	71			*	*		
	28,55	1,73	33/2	49,0	69	0,49	73	33,0	76	0,37	71			*	*		
+	21,95	1,33	33/2	64,0	64	0,58	74	42,0	71	0,44	72			*	*		
	19,56	2,55	23/3	72,0	80	0,74	81	48,0	86	0,54	80			*	*		
IEC	17,10	2,23	23/3	82,0	78	0,82	81	54,0	84	0,60	80			*	*		
	15,03	1,96	23/3	93,0	75	0,90	82	62,0	83	0,66	81			*	*		
	13,27	1,73	23/3	106,0	73	0,99	82	70,0	80	0,73	81			*	*		
	10,20	1,33	23/3	137,0	68	1,10	83	91,0	76	0,73	82			*	*		

Obr. 4.9 – Tabulka hodnot převodovky sběrného šneku [14]

Výstupní otáčky převodovky	$n_{skuts}$	82	$[\text{min}^{-1}]$
Převodový poměr	$i_{ps}$	17,1	$[-]$
Moment setrvačnosti převodovky	$J_{ps}$	0,16	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$
Účinnost převodovky	$\eta_{ps}$	0,8	$[-]$

#### 4.7.17 Výpočet doby rozběhu dopravníku

$$M_{sms} = \frac{1}{n_e} \cdot K_s \cdot \frac{D_s}{2} \cdot \frac{1}{\eta_{ps} \cdot i_{ps}} \quad [5] \quad (6.18)$$

$$M_{sms} = \frac{1}{1} \cdot 1063 \cdot \frac{0,2}{2} \cdot \frac{1}{0,8 \cdot 17,1}$$

$$M_{sms} = 7,77 [\text{N} \cdot \text{m}]$$

kde  $n_e$  počet motorů  $[-]$

#### 4.8 Měrná hmotnost dopravovaného materiálu

$$q_{ms} = \frac{Q_s}{3,6 \cdot v_{Skuts}} \quad [5] \quad (6.19)$$

$$q_{ms} = \frac{60}{3,6 \cdot 0,27}$$

$$q_{ms} = 61,7 [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}]$$

### Hmotový moment setrvačnosti dopravovaného materiálu a šnekového hřídele

$$J_{1s} = \frac{1}{2} \cdot m_{reds} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot [(q_{ms} \cdot L_{\check{c}s}) + m_{\check{s}s}] \cdot \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 \quad [5] \quad (6.20)$$

$$J_{1s} = \frac{1}{2} \cdot [(61,7 \cdot 1,5) + 36,26] \cdot \left(\frac{0,2}{2}\right)^2$$

$$J_{1s} = 0,64 [kg \cdot m^2]$$

### Hmotový moment setrvačnosti poháněcí stanice

$$J_{2s} = J_{ms} + J_{ps} + J_{ss} \quad (6.21)$$

$$J_{2s} = 0,019 + 0,013 + 0,145 \cdot 10^{-2}$$

$$J_{2s} = 0,0335 [kg \cdot m^2]$$

### Hmotový moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru

$$J_{reds} = (J_{1s} + J_{2s}) \cdot \frac{1}{(\eta_{cs} \cdot i_{ps})} \quad [5] \quad (6.22)$$

$$J_{reds} = (0,64 + 0,0335) \cdot \frac{1}{(0,8 \cdot 17,1)}$$

$$J_{reds} = 0,049 [kg \cdot m^2]$$

#### 4.8.1 Dynamický moment do zpoždění posuvných a rotačních hmot

$$M_{DMs} = J_{reds} \cdot \varepsilon_{ms} \quad [5] \quad (6.23)$$

$$M_{DMs} = J_{red} \cdot \frac{d\omega_{ms}}{dt}$$

#### 4.8.2 Výpočet doby rozběhu

$$M_A - M_{sms} - M_{DMs} = 0 \quad [5] \quad (6.24)$$

$$M_A - M_{sm} - J_{red} \cdot \frac{d\omega_m}{dt} = 0$$

$$M_A - M_{sm} = J_{red} \cdot \frac{d\omega_m}{dt}$$

$$dt = \frac{J_{red}}{(M_A - M_{sm})} \cdot d\omega_m$$

$$\int_0^{trs} dt = \int_0^{\omega_m} \frac{J_{red}}{(M_A - M_{sm})} \cdot d\omega_m$$

$$t_{rs} = \frac{J_{red}}{(M_A - M_{sm})} \cdot \omega_m$$

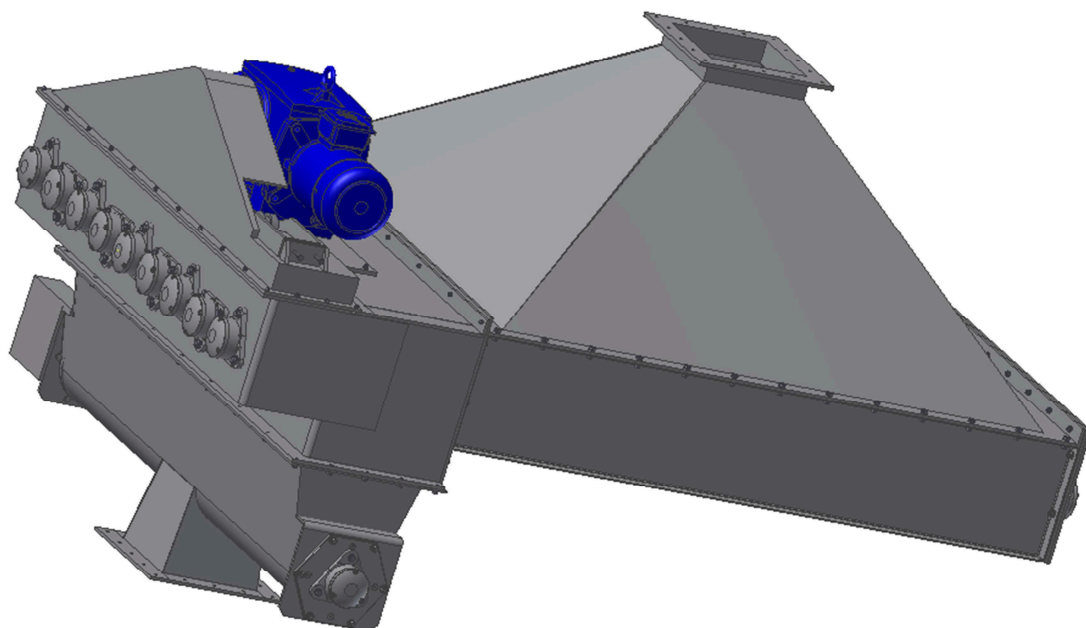
$$t_{rs} = \frac{J_{red}}{(M_A - M_{sm})} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_m}{60}$$

$$t_{rs} = \frac{0,049}{(18,676 - 7,77)} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1750}{60}$$

$$t_{rs} = 0,82[s]$$

## 5 Konstrukční řešení dávkovacího dopravníku.

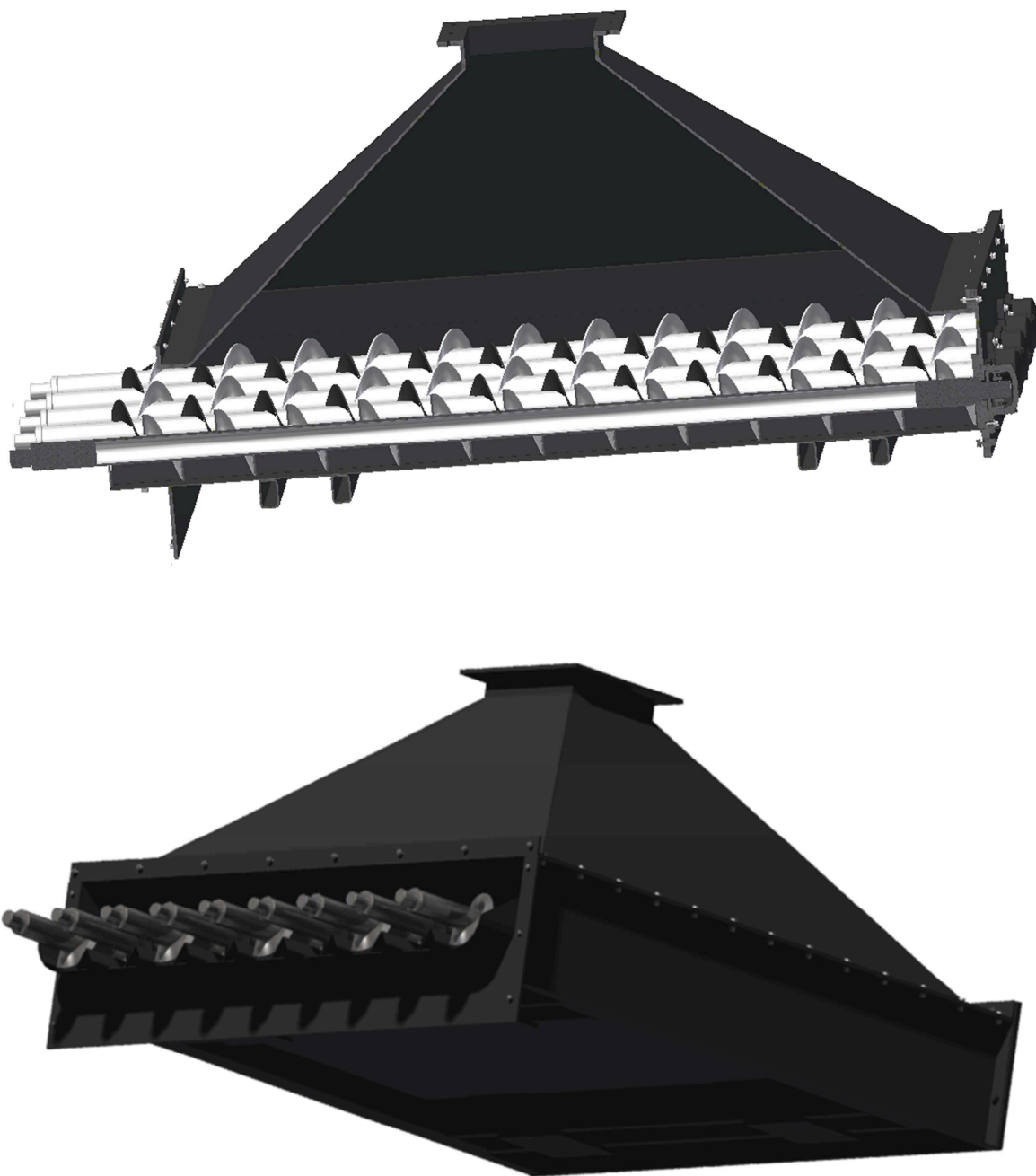
Návrh konstrukce dávkovacího zásobníku se skládá ze tří hlavních částí. První je zásobníkový prostor, následuje poháněcí část a ústrojí sběrného šneku.



Obr. 5.1- Dávkovací zásobník [11]

### 5.1 Zásobníková část

Zásobníkový prostor se skládá z devíti šnekových dopravníků, které se ustavují do přírubových ložiskových domků přišroubovaných k boční desce. Zásobníkový prostor je zobrazen na obr.5.2. Další části zásobníkového prostoru jsou krycí a nosné plechové konstrukce a podpěrný rám, který rozkládá zatížení od podpor a plechová konstrukce se tak méně deformuje.

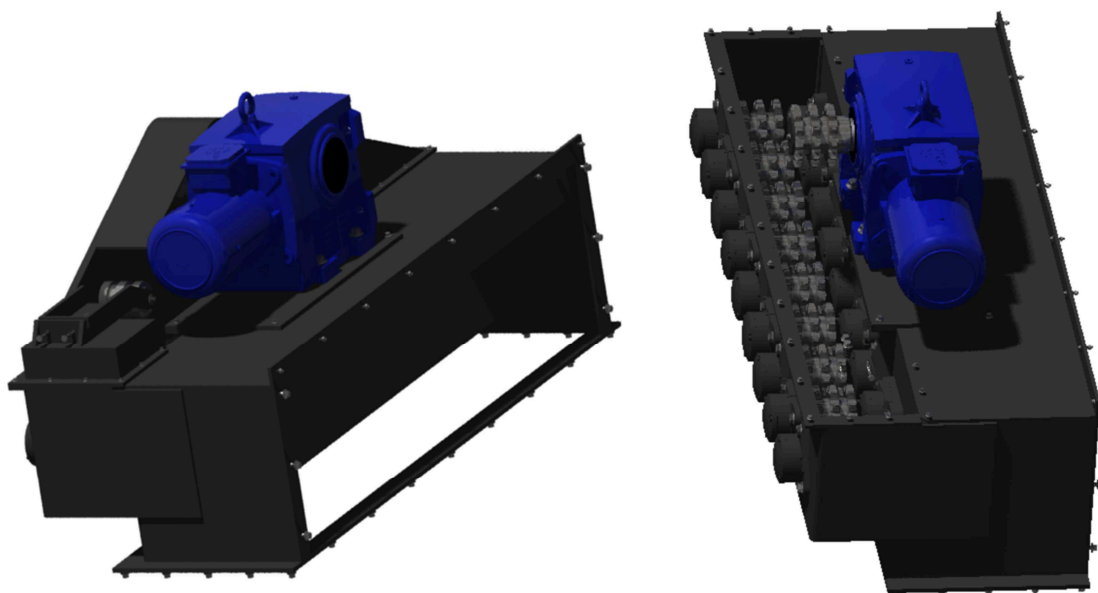


Obr. 5.2 - Zásobníková část konstrukce [11]

V horní části na pravé straně lze vidět uchycení šnekovnice v ložiskových domcích, v pravé části uchycení není vidět. Uchycení je realizováno násuvným pouzdem s drážkou pro těsná pera.

## 5.2 Pohonná část šnekového dna.

Pohonná část se skládá z vlastní plechové konstrukce, ložiskových domků řetězového pohonu, jenž pohání šneky šnekového dna, napínací stanice řetězového pohonu a Elektro-převodovky od společnosti Nord.



Obr. 5.3 Pohonná část šnekového dna [11]

### 5.3 Konstrukce sběrného šneku.

Konstrukce sběrného šneku se skládá z půleného šnekového dopravníku, který tak dopravuje materiál do středu, uchycení šnekovnice pomocí ložiskových domků, spojky a elektropřevodovky od společnosti Nord.



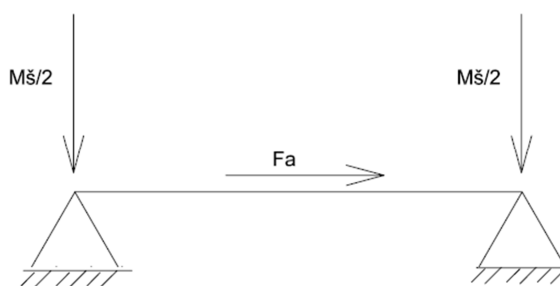
Obr. 5.4 - Konstrukce sběrného dopravníku [11]

## 6 Konstrukční výpočty

Kapitola obsahuje pevnostní a návrhové výpočty potřebné k návrhu částí dávkovacího zásobníku. Návrhové výpočty ložisek, ložiskových domků, těsných per, a také pevnostní výpočet hřídele řetězových kol a její kontrolu v simulačním programu Ansys Workbench 14.

### 6.1 Návrh ložisek a ložiskových domků od axiální síly šneku.

Výpočtové schéma.



Obr. 6.1 - Reakce na ložiska [11]

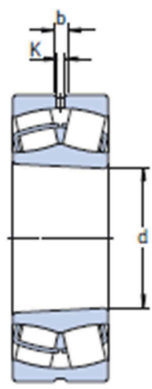
Axiální síla  $|F_a| = 990,2 \text{ N}$

$F_a$ - axiální síla působící od šneku.

$Mš$ - tíha šneku

## 6.2 Návrh axiálně radiálního ložiska.

Ložisko musí přenášet dvě různá zatížení, a to axiální sílu na šneku a také tíhu šneku. Z hlediska přenášení dvou různých zatížení je voleno dvouřadé soudečkové ložisko SKF 22208 EK.



Hlavní rozměry			Únosnost		Připustné otáčky		Hmot- nost	s kuželovou dírou
d	D	B	dyna- mická C	sta- tická C <sub>0</sub>	Refe- renční otáčky	Mezní otáčky		
mm			kN		min <sup>-1</sup>		kg	
40	80	23	96,5	90	8 000	11 000	0,53	* 22208 EK

Obr. 6.2 – Ložisko přírubového domku [2]

### 6.2.1 Stanovení ekvivalentního zatížení ložiska

Axiální síla na ložisko  $F_{a9}=990,2\text{N}$

Radiální zatížení ložiska  $F_{r9}=176,6\text{N}$

Volba součinitelů  $Y_1$  a  $Y_2$  pro výpočet Ekvivalentního zatížení.

$F_a/F_r > e$

$32,4 > e = 0,28 \rightarrow$  výpočet dle katalogového vzorce  $P = 0,67 \cdot F_r + Y_2$

Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení.

$$P = b(0,67 \cdot F_r + Y_2 \cdot F_a) \quad [2] \quad (7.1)$$

$$P = 1,1(0,67 \cdot 0,1766 + 3,6 \cdot 0,99)$$

$$P = 4,05 \text{ kN}$$



### 6.2.2 Výpočet statického zatížení ložiska.

$$P_0 = F_r + Y_0 \cdot F_a$$

$$P_0 = 0,176 + 2,5 \cdot 0,99 \quad [2] \quad (7.2)$$

$$P_0 = 2,651 \text{ kN}$$

### 6.2.3 Základní trvanlivost ložiska.

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^P = \left( \frac{96,5}{4,05} \right)^{10/3} = 38926 \text{ milot} \quad [2] \quad (7.3)$$

Časová trvanlivost ložiska

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 34,5} 122,6 = 59178,78 \text{ hod} \quad [2] \quad (7.4)$$

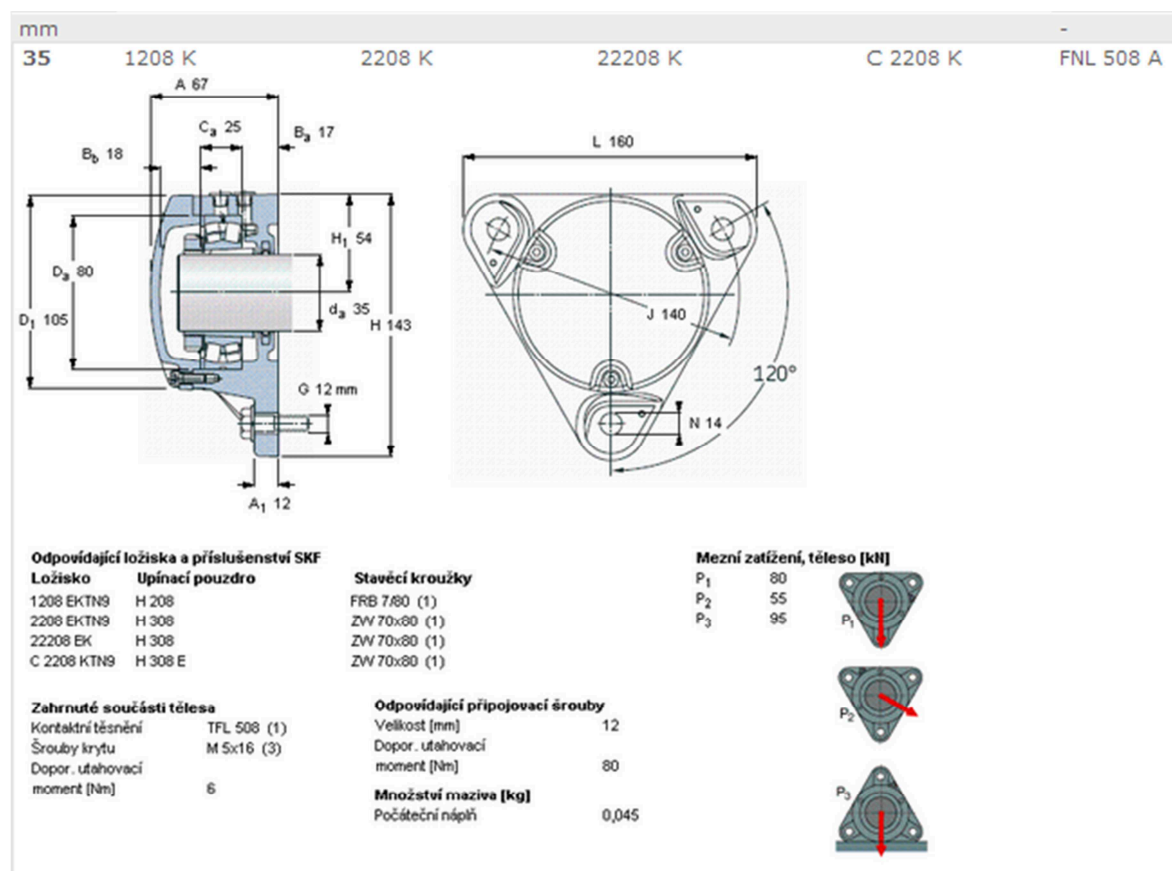
### 6.2.4 Kontrola axiálního směru zatížení ložiska

$$\begin{aligned} F_{ap} &= 0,003 \cdot B \cdot d = 0,03 \cdot 23 \cdot 40 \\ F_{ap} &= 2,76 \text{ kN} > 990,2 \text{ N} \end{aligned} \quad [2] \quad (7.5)$$

Návrh ložiska vyhovuje.

## 6.2.5 Návrh ložiskového domku.

Pro odpovídající ložisko a výbavu pro průměr hřídelového konce  $d_a=35\text{mm}$  odpovídá ložisku 22208 EK odpovídá uzavřený ložiskový domek SKF FNL 508 A.



Obr. 6.3 – Ložiskový přírubový domek [2]

Na straně závěsu, kde se nenachází pohon, jsme tedy zvolili ložiska SKF 22208 EK a ložiskový domek SKF FNL 508 A.

### 6.2.6 Návrh šroubového spoje ložiskového domku.

Šrouby pod ložiskovými domky přenášejí radiální síly od tíhy šneku a axiální síly  $F_a=990,2\text{N}$ .

Dle výrobce k danému ložiskovému domku odpovídají šrouby M5x16 který je utažen utahovacím momentem 6Nm.

Housing Size	Cover bolts Size	Tightening torque
—	—	Nm
FNL 508	M5 x 16	6

Obr. 6.4 - Šrouby ložiskového domku [2]

Na jeden šroub působí síla  $F_s=1910\text{N}$

Kontrola zatížení šroubu.

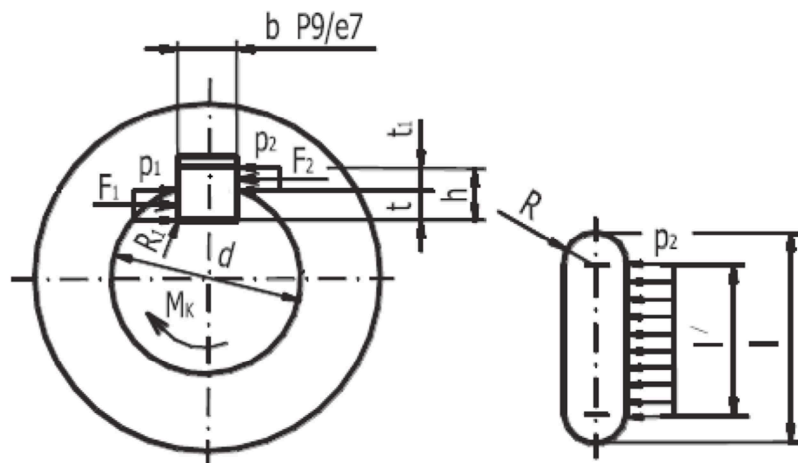
$$\sigma = \frac{F_s}{S_s} = \frac{F_s}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{330,01}{\frac{\pi \cdot 4,571^2}{4}} = 20\text{MPa} \quad [8] \quad (7.6)$$

Šroub M5x0,35 6g délky 16mm a materiálu 8,8.

Odpovídající dovolené zatížení šroubu  $\sigma_{os} = 8 \times 8 \times 10 = 560\text{MPa}$ .

Tedy šroub vyhovuje.

## Návrh těsných per na hřídeli pohonu.



Obr. 6.5 – Těsné pero [10]

Vypočtený kroutící moment z kapitoly pro šnek šnekového dna

$$M_k = 48,9 Nm = 48900 Nmm \quad (7.7)$$

Výpočet obvodové síly z kroutícího momentu na hřídeli šneku.

$$F_{pp} = \frac{M_{kh}}{\frac{d_1}{2} + \frac{t_1}{2}} \quad [8] \quad (7.8)$$

$$F_{pp} = \frac{48,9}{\frac{0,035}{2} + \frac{0,0033}{2}}$$

$$F_{pp} = 14384,4 N$$

### 6.2.7 Výpočet předběžné délky pera

$$l' \geq \frac{F_{pp}}{p_{D2} \cdot t_1} \quad [20] \quad (7.9)$$

$$l' \geq \frac{14778}{80 \cdot 3,3}$$

$$l' \geq 54,5 mm$$

### 6.2.8 Celková délka pera.

$$l = l' + b \quad [20] \quad (7.10)$$

$$l = 54,5 + 10$$

$$l = 66 mm$$

Volíme pero 10e7x8x70 ČSN 02 2562

## 6.2.9 Výpočet radiální síly zatížení hřídele

Pro nejvíce zatížené řetězové kolo odpovídají radiální síly

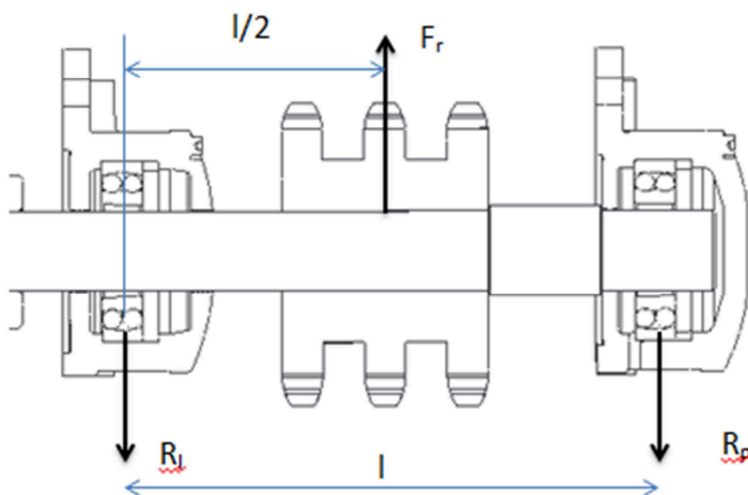
Radiální síla působící na hřídel a řetězové kolo jsou vygenerovány pomocí programu Autodesk Inventor 2012.

Kolo 5	
z	20,000 ul
z <sub>c</sub>	6,000 ul
i	1,000 ul
D <sub>p</sub>	121,776 mm
β	99,12 deg
n	34,500 rpm
F <sub>r</sub>	12213,692 N
F <sub>1</sub>	8023,695 N
F <sub>2</sub>	8023,695 N
L <sub>f</sub>	103,781 mm
C	516,941 mm

Obr. 6.6 – Hodnoty řetězového kola [11]

Kde síla F<sub>r</sub> představuje radiální sílu na hřídel řetězového kola

Výpočet reakcí na jednotlivé ložiskové domky.



Obr. 6.7 – Reakce ložisek [11]

$$\begin{aligned} F_r - R_l - R_p &= 0 \\ F_r &= R_l + R_p \end{aligned} \tag{7.11}$$

$$\begin{aligned} R_l &= R_p \\ R_l = R_p &= \frac{F_r}{2} = \frac{12213,692}{2} = 6106,8N \end{aligned}$$

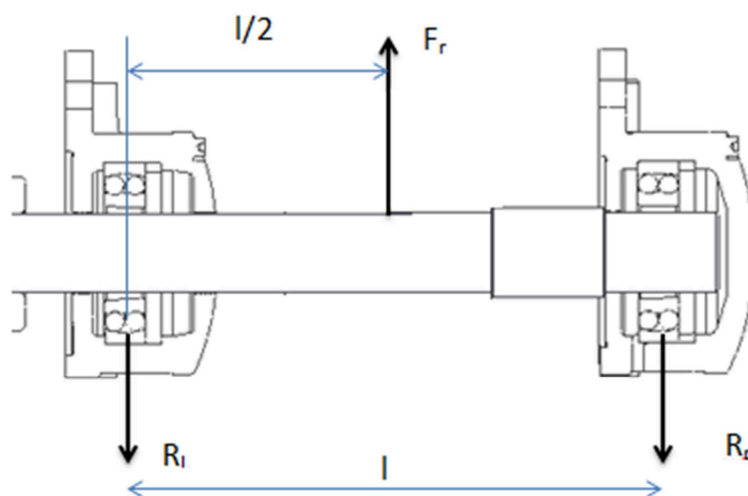
Za předpokladu volby stejných ložiskových domků na šneku byly zvoleny ložiskové domky SKF FNL 508 A a SKF FNL 508 B.



Obr. 6.8 – Ložiskový přírubový domek [2]

Na obrázku lze vidět, že síla v reakci nepřesáhne mezní zatížení, tedy ložiskové domky SKF FNL 508 A a SKF FNL 508 B vyhovují danému návrhu.

### 6.3 Návrh hřídele pod řetězovými koly.



Obr. 6.9 – Zatížení hřídele [11]

#### 6.3.1 Maximální ohybový moment zatěžující hřídel.

$$M_{OH} = R_l \cdot \frac{l}{2} \quad [8] \quad (7.12)$$

$$M_{OH} = 6106,8 \cdot \frac{220}{2}$$

$$M_{OH} = 671753,5 \text{ Nmm} = 671,75 \text{ Nm}$$

### 6.3.2 Napětí od ohybu.

$$\sigma_{oh} = \frac{M_o}{W_{oh}} \quad [20] \quad (7.13)$$

$$\sigma_{oh} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}}$$

$$\sigma_{oh} = \frac{671753,5}{\frac{\pi \cdot 35^3}{32}}$$

$$\sigma_{oh} = 159,6 MPa$$

### 6.3.3 Maximální kroutící moment na hřídeli.

$$M_{kc} = M_k = 48900 \text{ Nmm} \quad (7.14)$$

### 6.3.4 Napětí v krutu.

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \quad [20] \quad (7.15)$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}}$$

$$\tau_k = \frac{49800}{\frac{\pi \cdot 35^3}{16}}$$

$$\tau_k = 5,8 MPa$$

### 6.3.5 Celkové napětí podle teorie HMM.

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{oh}^2 + 3 \cdot \tau_k^2} \quad [20] \quad (7.16)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{159,6^2 + 3 \cdot 5,8^2}$$

$$\sigma_{red} = 160 MPa$$

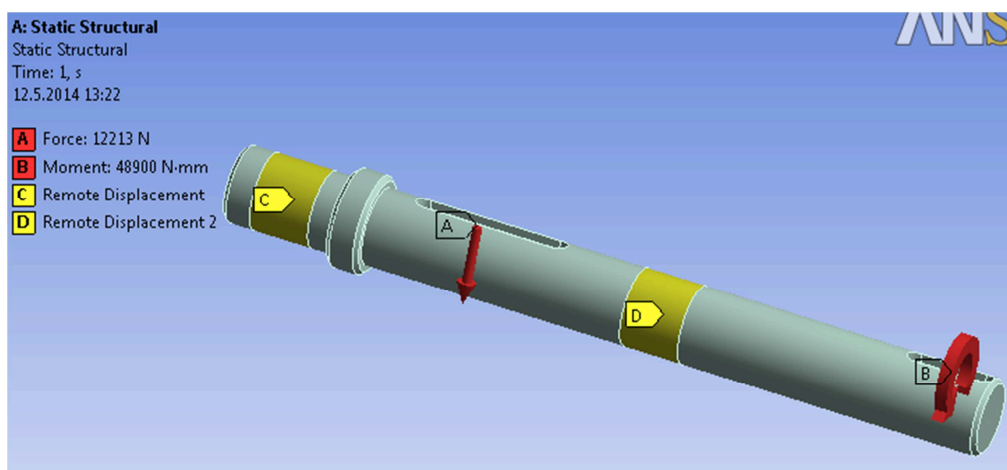
## Dovolené napětí na hřídeli

$$\sigma_D = 230 \text{ MPa}$$

Hřídel vyhovuje

### 6.4 Pevnostní kontrola hřídele pomocí programu ansys 14.

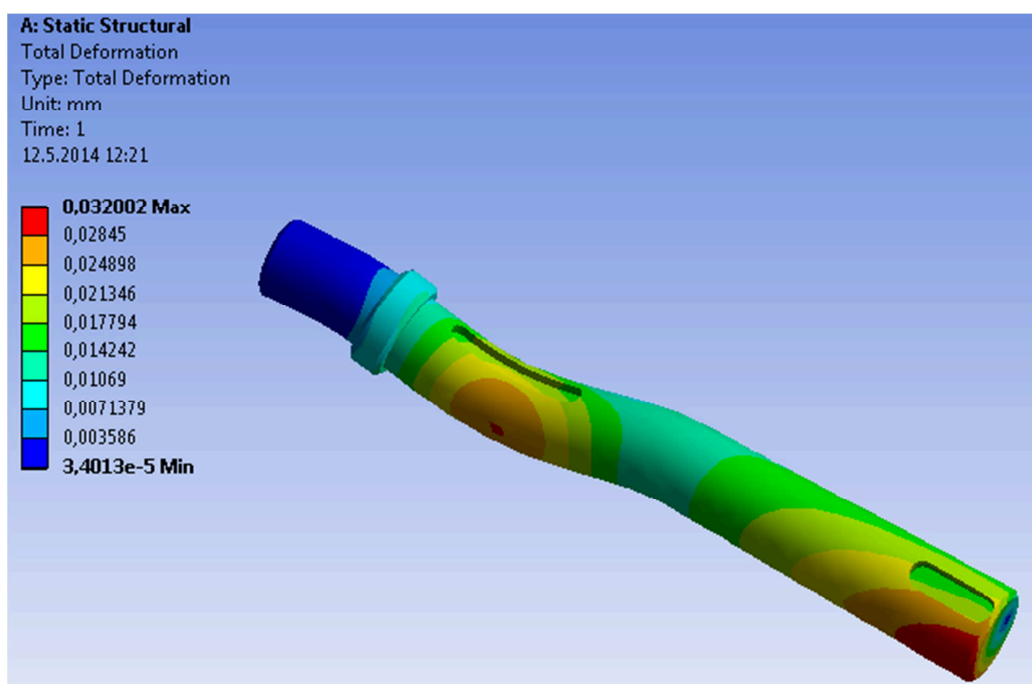
Pomocí programu ansys 14 byla provedena pevnostní kontrola hřídele. Hřídel byla ustavena na ložiska, tato ložiska imitují na Obr. 6.10 plochy označeny C a D. Dále je hřídel namáhána na ohyb silou, kterou znázorňuje síla s indexem A a kroutícím momentem od šneku označeného B.



Obr. 6.10 - Vstupní podmínky ansys [13]

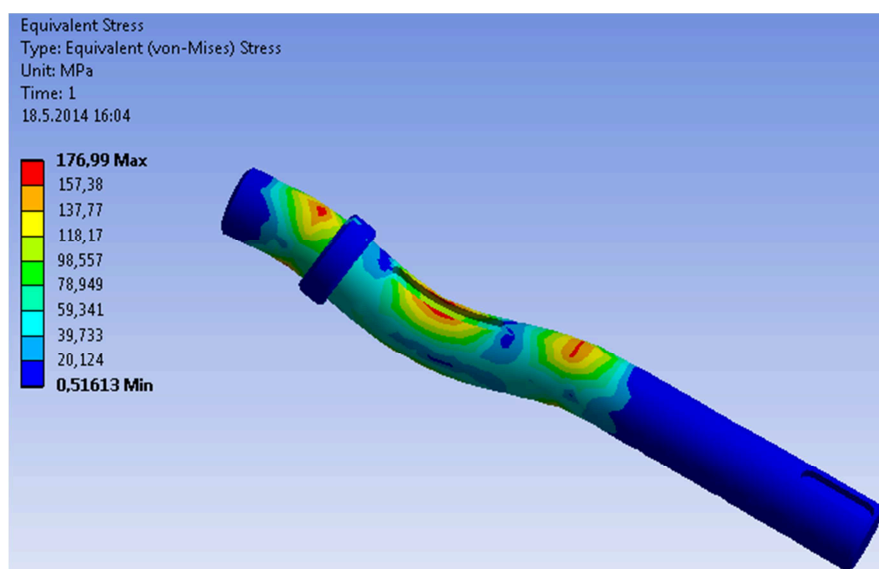


Maximální průhyb hřídele se nachází pod ohybovou silou a nabývá hodnot 0,032mm. Tedy průhyb na hřídeli je minimální.



Obr. 6.11 - Průhyb hřídele [13]

Napětí na hřídeli je zobrazeno na Obr.6.12. Maximální napětí dosahuje hodnoty 176,99MPa a odpovídá vypočtené hodnotě. Odchylka je způsobena výpočtovou metodou a nabývá maxima na hraně drážky pro těsná pera.



Obr. 6.12 - Napětí v hřídeli dle ansys 14 [13]

Pevnostní analýza potvrzuje pevnostní výpočet.

## 7 Závěr

Cílem práce byl návrh dávkovacího zásobníku, který má být součástí experimentální pyrolytické pece ENET. Dle zadání má být zásobník plněn řetězovo-trubkovým dopravníkem a má za úkol dopravovat různé druhy materiálů do pyrolýzní pece. Byla zpracována rešerše o šnekových dopravnících a možnostech vyprazdňování zásobníků. Po porovnání výhod a nevýhod jednotlivých návrhů byla zvolena nejvhodnější varianta. Byly provedeny výpočty parametrů šnekových dopravníků podle norem ČSN ISO 1050 a také kapacitní výpočty dopravníků. Pohony jsou dostatečně dimenzovány pro maximální zatížení předpokládanými materiály. Výběr pohonných jednotek byl proveden z nabídky firmy NORD Drivesystem.

Kapitola konstrukčních výpočtů se zabývá návrhem ložiskových domků, ložisek, návrhy těsných per, a pevnostním výpočet hřídele pod řetězovými koly. Výpočet hřídele byl následně ověřen pevnostní analýzou v programu Ansys Workbench 14. Analýza potvrdila správnost výpočtů, vypočítané hodnoty nepřekračují povolené hodnoty a všechny součásti vyhovují.

Byla doložena výkresová dokumentace, šneku zásobníku, sběrného šneku, hřídele pod řetězovými koly a sestavný výkres dávkovacího zásobníku, a dispoziční výkres umístění zásobníku. Návrhem řešení, ověřením výpočtů simulací a vytvořením dokumentace bylo splněno zadání práce.

## **Seznam použitých zdrojů a literatury**

- [1] *Laboratoř sypkých hmot* [online]. 2004 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.lsh.vsb.cz>
- [2] *SKF* [online]. 2006 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: [www.skf.cz](http://www.skf.cz)
- [3] *Sklenář, s. r. o.* [online]. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: [www.sklenar.cz](http://www.sklenar.cz)
- [4] *PÖTTINGER, spol. s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: [http://www.poettinger.cz/cs\\_cz/](http://www.poettinger.cz/cs_cz/)
- [5] BOBOK, J. *Šnekový dopravník pro dopravu hnědouhelného prachu*, Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB- Technická univerzita Ostrava 2012. Bakalářská práce, Vedoucí doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D. 53 stran, rozsah grafických prací 43 A4
- [6] Vyletělek, J. *Vynášení biohmoty ze dna zásobníku*, Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava 2009, Diplomová práce, Vedoucí prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc. 98 stran, rozsah grafických prací 73 A4.
- [7] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [8] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonů strojů*. I.vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008., 128 s. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [9] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [10] KALÁB, K. *Vysokoškolská příručka: Návrh a výpočet spojů pro přenoso kroutcího momentu z hřídele na náboj*. Ostrava-Poruba, 2011 Strojnické tabulky
- [11] *Obrázek vytvořený pomocí program Autodesk Inventor 2012.*
- [12] *Obrázek vytvořený pomocí program AutoCAD 2012.*
- [13] *Obrázek vytvořený pomocí program Ansys Workbench 14.0*
- [14] Nord.com. *Nord* [online]. 2010 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: [http://www.nord.com/cms/cz/product\\_catalogue](http://www.nord.com/cms/cz/product_catalogue)
- [15] Fs.vutbr.cz. *VUT Brno* [online]. 2010 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: [.fs.cvut.cz/tomas.jirout/vyuka](http://fs.cvut.cz/tomas.jirout/vyuka)
- [16] Avytapeni.cz. *A vytápění* [online]. 2009 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://avytapeni.cz>

- [17] OPOP s.r.o. *Opop s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.opop.cz>
- [18] Strojírny Prachovice s.r.o. *Strojírny Prachovice s.r.o* [online]. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.strojprach.cz>
- [19] Části a mechanismy strojů III. *Části a mechanismy strojů 3: Hřídel* [online]. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: [http://www.347.vsb.cz/staff/folta/CaMS\\_III/CAMS\\_III.htm](http://www.347.vsb.cz/staff/folta/CaMS_III/CAMS_III.htm)
- [20] Boháče, F.: *Části a mechanismy strojů I: Základy konstruování Spoje* . Brno: Rektorát Vysoké učení technické v Brně, 1984, 315s.

## **Seznam obrázků**

Obr. 2.1 – Popis šnekového dopravníku [15] .....	13
Obr. 2.2 – Plná šnekovnice [5] .....	14
Obr. 2.3 – Obvodová šnekovnice [5] .....	14
Obr. 2.4 – Bezosá šnekovnice [5] .....	15
Obr. 2.5 – Kuželová šnekovnice [5] .....	15
Obr. 2.6 – Lopatková šnekovnice [5] .....	16
Obr. 2.7 – Vyprazdňování z klonické části [17] .....	17
Obr. 2.8 – Podélné vyprazdňování [18] .....	17
Obr. 2.9 – Šnekové dno [17] .....	18
Obr. 2.10 – Hřeblové dno [4] .....	19
Obr. 2.11- Posuvná dna [6] .....	20
Obr. 2.12 – Poruchy toku [3] .....	20
Obr. 2.13 – Vzduchové děla [3] .....	21
Obr. 2.14 – Příklad montáže vzduchových děl [3] .....	21
Obr. 2.15 – Provdzdušňovací tryska [3] .....	22
Obr. 3.1 – Rozmístění šneků šnekového dna [12] .....	23
Obr. 3.2 – Návrh hřeblového uspořádání [12] .....	23
Obr. 3.3 – Návrh redlerového dna [12] .....	24
Obr. 4.1 – Převáděvaná guma .....	25
Obr. 4.2 – Převáděvané peletky .....	26
Obr. 4.3 – Šneky ve dně [12] .....	26
Obr. 4.4 – Řetězové poháněcí ústrojí [11] .....	32
Obr. 4.5 – Vypočtené hodnoty pomocí Autodesk Inventor [11] .....	33
Obr. 4.6 – Tabulka hodnot motoru pohonu šnekového dna [14] .....	34
Obr. 4.7 – Tabulka hodnot převodovky šnekového dna [14] .....	34
Obr. 4.8 – Tabulka hodnot motoru sběrného šneku [14] .....	42
Obr. 4.9 – Tabulka hodnot převodovky sběrného šneku [14] .....	43
Obr. 5.1- Dávkovací zásobník [11] .....	46
Obr. 5.2 - Zásobníková část konstrukce [11] .....	47
Obr. 5.3 -Pohonná část šnekového dna [11] .....	48
Obr. 5.4 - Konstrukce sběrného dopravníku [11] .....	48
Obr. 6.1 - Reakce na ložiska [11] .....	49
Obr. 6.2 – Ložisko přírubového domku [2] .....	50
Obr. 6.3 – Ložiskový přírubový domek [2] .....	52
Obr. 6.4 - Šrouby ložiskového domku [2] .....	53
Obr. 6.5 – Těsné pero [10] .....	54
Obr. 6.6 – Hodnoty řetězového kola [11] .....	55
Obr. 6.7 – Reakce ložisek [11] .....	55
Obr. 6.8 – Ložiskový přírubový domek [2] .....	56
Obr. 6.9 – Zatížení hřídele [11] .....	56
Obr. 6.10 - Vstupní podmínky ansys [13] .....	58
Obr. 6.11 - Průhyb hřídele [13] .....	59
Obr. 6.12 - Napětí v hřídeli dle ansys 14 [13] .....	59

## **Seznam příloh**

1 - výkresová dokumentace

2 – datový nosič CD

## **Poděkování**

Za cenné rady, připomínky, ochotu a čas děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Jiřímu Zegzulkovi, CSc. a svým rodičům za podporu při studiu.